

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXLV.

1. *Untersuchung über elektrische Disjunctionsströme; von A. F. Sundell.*

(Schluß von S. 442.)

§. 4.

Folgende Versuche wurden angestellt, um die Richtigkeit der in § 1 ausgesprochenen Ansicht zu bekräftigen, daß der Extrastrom A von der Rolle R (Fig. 1, Taf. V) eine erhöhte Zerreibung bei pq zu Stande bringt.

Auf Hrn. Edlund's Vorschlag wurde die Rolle bei R statt des Drahtes en eingeschaltet und ein gerader Draht als Brücke zwischen d und e gesetzt. Es ist klar, daß, falls der (§. 1, Reihe 3) beobachtete Zuwachs im Ausschlage nicht durch die erhöhte Zerreibung, sondern durch die magnetische Wirkung der Inductionsströme aus der Rolle bei R hervorgebracht wurde, dieses auch, wenn die Rolle bei R' ist, eintreten muß, weil in diesem Falle B , zufolge der doppelten Leitung durch den Funken bei pq und den Zweig mGn , intensiver als A wird. Inzwischen wird der Ausschlag immer bedeutend *vermindert*, wenn die Rolle bei R' eingesetzt wird. Bei der Anordnung in der Versuchsreihe 3, §. 1 ging nämlich der Ausschlag dadurch bei einem Versuche von (im Mittel) 11,4 bis 7,1 Scalentheilen, bei einem anderen von 27,4 bis 16,7 Scalentheilen herab. Da die Rolle bei R und R' also Veränderungen entgegengesetzter Natur in der Gröfse des Ausschlages hervorbrachte, konnten diese Veränderungen nicht ihren Hauptgrund in der Wirkung der Extrastöme

auf die Nadel haben, sondern es mußte eine Modification in der Zerreibung der Polflächen die Ursache hievon seyn. Wie die Veränderung des Ausschlages durch Einsetzung der Rolle bei R erklärt werden muß, ist schon oben (am Ende des §. 1) angeführt. Wenn die Rolle sich bei R' befindet, muß bemerkt werden, daß die Entladung zwischen p und q mit *verminderter* Elektrizitätsmenge anfängt, weil der zuerst auftretende Extrastrom A jetzt in $nqpm$ dem Entladungsstrom entgegenarbeitet; dieß hat eine verminderte Zerreibung, sowie eine Abnahme im Ausschlage des Disjunctionsstromes zur Folge.

Da also die Zerreibung durch auftretende Inductionsströme verändert wird, könnte man vermuthen, daß, auch wenn die Brücke dRe fort ist, der Betrag der Abnahme im Ausschlage des Disjunctionsstromes (vom Funken bei pq) darauf beruhe, ob die Rolle zwischen n und q oder zwischen n und s eingesetzt werde. Um zu erforschen, in wie fern dieß der Fall sey, wurden folgende Versuche angestellt.

Die Brücke dRe (Fig. 1, Taf. V) wurde fortgenommen; a und m , sowie m und p wurden mit kurzen und dicken Kupferdrähten verbunden; n wurde mit q und s durch zwei 915 Cm. lange Kabeldrähte vereinigt. Die Leitung zwischen m und s entsprach 915 Cm. Kabeldraht. Kein Rheostat befand sich in der Leitung. Statt qn oder ns konnte ein in 20 Windungen aufgerollter 915 Cm. langer Kabeldraht eingesetzt werden. Schlagweite 12 Mm.; Funken 3 Mm., 6 in der Secunde; kleine Zinnkugeln.

	1. Ohne Rolle	2. Rolle in nq	3. Rolle in ns	4. Rolle in nq	5. Ohne Rolle
Ausschlag (Mittel)	46,1	11,7	21,3	11,1	50,5

Mittel von 1 und 5 = 48,3, von 2 und 4 = 11,4 Scalentheilen.

Das Einsetzen der Rolle statt nq verursachte also eine Verminderung im Ausschlage von 36,9 (= 48,3 — 11,4) Scalentheilen, wogegen bei Rolle statt ns die Her-

absetzung nur 27 ($= 48,3 - 21,3$) Scalenth. betrug. Zu diesem Unterschied in der Herabsetzung in beiden Fällen kann eine Verschiedenheit im Verlauf der Induction nicht die einzige Ursache seyn. In beiden Fällen werden zwei Extraströme *A* und *B* hervorgebracht. Wenn die Rolle in *ns* ist, durchgeht *A* in größter Proportion den Funken *pq*; von den Extraströmen einer Rolle in *nq* ist aber *B* der stärkere. Weil sich kein Grund zu der Annahme findet, daß dieser intensiver¹⁾ als der Strom *A* (von der Rolle in *ns*) wäre, mußte die Herabsetzung nun höchstens gleich mit der bei Rolle in *ns* werden. Die Versuche zeigen dagegen, daß die Herabsetzung größer wird; also kann sie ihren Grund nicht ausschließlich in der Wirkung der Inductionsströme auf die Magnetnadel haben. Dagegen wird das Phänomen ohne Schwierigkeit als eine Folge der durch die Extraströme veränderten Zerreibung der Polflächen erklärt. Wenn nämlich die Rolle in *ns* ist, hat der Strom *A* in *pq* gleiche Richtung mit dem Entladungsstrom. Die dadurch erhöhte Zerreibung hebt theilweise die Herabsetzung auf, den derselbe Strom *A* verursachen sollte. Wenn dagegen die Rolle statt *nq* eingesetzt ist, wird durch das gleichzeitige Auftreten der Ströme *U* und *A* die Zerreibung *vermindert*. In diesem Falle wird also der Ausschlag aus zwei Gründen herabgesetzt; 1) weil einer der Inductionströme (nämlich *B*) den Funken bei *pq* mit Leichtigkeit durchgeht; 2) weil die elektromotorische Kraft der Disjunction in Folge der Induction geringer wird. Die Herabsetzung muß also (wie auch die angestellten Versuche zeigen) bei Rolle in *nq* größer als bei Rolle in *ns* werden.

Hr. Prof. Edlund hat vor Kurzem²⁾ durch Versuche die Ventilnatur des Funkens bestätigt. Eine fernere Be-

1) Falls die Induction in *nq* und *ns* von verschiedener Stärke ist, ist sie wahrscheinlich auf der letzteren Stelle kräftiger, weil ein größerer Theil der Entladung durch den Zweig *nrGsn* geht.

2) *Oef. af K. Vet.-Akad. Förh.* 1869, S. 705; *Pogg. Ann.* Bd. 139, S. 369.

stätigung liegt auch in den soeben hier angeführten Thatsachen. Durch das Einsetzen der Rolle statt *ns* wurde nämlich der Ausschlag, ungeachtet der erhöhten Zerreibung, um 27 Scalenth. oder um mehr als die Hälfte seiner ursprünglichen GröÙe herabgesetzt. Der durch die Ventilmatur des Funkens verursachte Unterschied zwischen den Intensitäten der beiden Extraströme übersteigt somit 27 Scalentheile.

§. 5.

Folgende Versuche verdienen genannt zu werden, weil sie einen neuen Beweis für das Daseyn der elektromotorischen Kraft der Disjunction ausmachen.

LäÙt man den Entladungsstrom von einer isolirten Kugel *d* (Fig. 2 Taf. V) nach zwei anderen Kugeln *e* und *f* überschlagen, welche vermittelt der Drähte *eRk*, *fGk* und *kc* in Verbindung mit der Kugel *c* stehen, müssen zwei Disjunctionsströme *D* und *D'* entstehen, welche die Leitung *kedfk* in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. Indem man die Länge der beiden Funken gehörig abpaÙt, muß man ihre Disjunctionsströme gleich stark machen können, so daß sie einander aufheben. Dies gelang auch bei den Versuchen ziemlich vollständig.

Versuch 1. Die Kugel *d* war von Messing, die Kugeln *e* und *f* von Eisen. Das Galvanometer war bei *G* eingesetzt und hatte wie gewöhnlich Brücke *rs* und Ableitungsdraht *st* zur Erde. Auch in *ek* wurde bei *R* eine Rolle eingeschaltet, mit der Galvanometerrolle vollkommen gleich und mit einer Brücke von derselben Beschaffenheit wie die des Galvanometers versehen. Man konnte also dadurch, daß man die beiden Rollen den Platz mit einander tauschen ließ, die Stromstärke in *ek* erforschen. Wenn der Funken *fd* 9 Mm. und *de* 8 Mm. lang war, verschwand der Ausschlag in *fGk* fast gänzlich. Wenn dann die Rollen *G* und *R* ihre Plätze vertauschten, ohne daß die Kugeln *e*, *d* und *f* bewegt wurden, erhielt man einen kleinen (1,7 Scalenth.) Ausschlag im Sinne eines in

gleicher Richtung mit dem Entladungsstrome gehenden Stromes. Dieser Ausschlag ist leicht zu erklären. Wie oben erwähnt, wurden die Funkenlängen so abgespafst, daß der Ausschlag verschwand, wenn das Galvanometer in fk war. Der Funke df mußte dann ein wenig länger als de genommen werden, so daß der Strom D' nicht nur D , sondern auch den Theil von U aufhob, welcher dfk durchgeht. In ek mußte man also Ausschlag für den Unterschied zwischen D' und D , vermehrt mit dem Theil von U , welcher diesen Weg geht, erhalten.

Versuch 2. Weil die Stärke eines Disjunctionsstromes auf der Funkenlänge beruht und mit derselben wächst, ist es zu erwarten, daß man, indem man den einen Funken im Verhältniß zu dem anderen groß macht, nach Gefallen entweder D oder D' zum herrschenden Strom werden lassen kann, so daß der Ausschlag im Galvanometer (eingesetzt z. B. in fk) bald nach der einen Seite, bald nach der anderen geschieht. Dies gelang auch auf folgende Weise. Wenn ein feiner Neusilberdraht als Rheostat z. B. in ek eingesetzt wurde, konnte man den Funken df größer als de machen, so daß der Strom D' die Oberhand bekam. Wurde aber der Rheostat in fk angebracht, konnte der Funken de verlängert werden, so daß D die Richtung des Ausschlages bestimmte. Auf diese Weise wurde folgender Versuch angestellt. Das Galvanometer befand sich in fk bei G . Die Funken hatten zusammen eine Länge von 8 Mm.; der kleinere Funke war ungefähr 3,5 Mm., der größere 4,5 Mm. lang. Schlagweite ungefähr 6 Mm.

	1.	2.	3.
	$df > de$	$de > df$	$df > de$
Ausschlag:	+ 17,2	— 10,4	+ 18,4.

Die Zeichen + und — geben Ausschläge nach entgegengesetzten Seiten der Scale an. Der Maschinenstrom allein gab einen negativen Ausschlag. Also war in 1 und 3 der Strom D' , in 2 aber D der herrschende, welches durch einen Blick auf die Figur 2, Taf. V klar wird, wo die Richtungen aller Ströme durch Pfeile angegeben sind.

Wenn die beiden Disjunctionsströme nicht da wären, würde der Wechsel in der Richtung des Ausschlages unerklärlich seyn.

Versuch. 3. Wenn der Draht kc mit a und dha mit e vereinigt wurde, konnten die Funken ungleich lang gemacht werden, auch wenn der Rheostat entfernt wurde. Der Ausschlag zeigte sich dann so empfindlich für Differenzen zwischen den beiden Funkenlängen, daß es mir nicht glückte, ihn gänzlich verschwinden zu lassen. Der Wechsel der Ablenkungsrichtung gelang aber bei dieser Anordnung vortrefflich. Die Kugel d war von Zinn, e und f von Eisen; Funkenlänge wie oben Versuch 2. Schlagweite 8 Mm.

	1.	2.	3.
	$df > de$	$de > df$	$df > de$
Ausschlag:	— 24	+ 19,9	— 35,7.

In Folge davon, daß die Drähte kc und dha auf oben angeführte Weise die Plätze mit einander vertauscht hatten, gingen in diesen Versuchen alle Ströme durch das Galvanometer in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung, so daß der Entladungsstrom nun einen positiven Ausschlag gab. Folglich wurde der Ausschlag in 1 und 3 durch den Strom D' , der in 2 durch D bestimmt.

Die Versuche 2 und 3 sind wichtig, weil sie unwidersprechlich beweisen, daß die elektromotorische Kraft der Disjunction mit der Funkenlänge wächst. Der Widerstand in der Leitung $dfked$ war nämlich derselbe, es mochte df oder de der längere Funken seyn, da ihre zusammengelegte Länge constant gehalten wurde. Der einzige Grund dafür, daß der Disjunctionsstrom des längeren Funkens die Richtung der Ablenkung bestimmt, muß folglich die gröfsere elektromotorische Kraft dieses Funkens seyn.

§. 6.

Um eine erweiterte Kenntniß der Eigenschaften des Disjunctionsstromes des elektrischen Funkens zu erhalten, ist es nothwendig zu erforschen, wie dieser Strom von

der entladenen Elektricitätsmenge und deren Spannung abhängig ist. Um die Menge variiren zu können, ohne daß die Spannung verändert wird und umgekehrt diese, während jene constant bleibt, muß man eine elektrische Batterie mit veränderlicher Fläche anwenden. Die in vorhergehenden Versuchen benutzte Methode mit discontinuirlichen Strömen, hervorgebracht durch Entladungen eines Ladungsapparates mit constanter Fläche (die Flaschen der Elektromaschine) wurde deshalb aufgegeben. In den folgenden Versuchen wurde der Disjunctionsstrom durch eine einzige Entladung aus einer großen Ladungsflasche oder einer Batterie von mehreren Flaschen hervorgerufen; der nach der Entladung beobachtete Ausschlag ist (wie bei anderen schnell verlaufenden Strömen) dem Product der Mittelintensität des Stromes in seine Dauer proportional.

Die Anordnung der Versuche wird durch Fig. 5, Taf. V erläutert. *E* ist die elektrische Batterie. Wenn es nicht besonders bemerkt ist, wurden Ladungsflaschen angewandt, deren äußere Belegung ungefähr 1200 Quadratctm. ausmachte. Ihre Höhe war 45, ihr Durchmesser 9 Ctm. und die Dicke des Glases 1 Mm. Von der isolirten äußeren Belegung der Batterie führt der Draht *eb* zu dem negativen Einsauger, und der Draht *ek* zu der einen (isolirten Kugel *k* eines Entladungsapparates, ähnlich dem von Riefs¹⁾ beschriebenen. Die zweite Kugel *l* dieses Apparates war auf einer Metallstange befestigt, welche mittelst eines hölzernen Klotzes so gestellt werden konnte, daß die Kugel *l* auf einem bestimmten Abstände über *k* stand. Die Kugeln *k* und *l* hatten 15 Mm. im Diameter. Die Drähte *eb*, *ek*, *ln*, *nq*, *mp* und *md* sind kurz und dick, und haben folglich geringen Widerstand. Die Leitung *mrGsn* entspricht der gleichbezeichneten in den Figuren 1 und 3. Der Metalldraht *st* ist an den Wasserleitungsröhren befestigt. Die von der inneren Belegung der Batterie während des Ladens vertriebene negative Elektricität geht also

1) Die Lehre von der Reibungselektricität, Bd. I, S. 352.

durch die Leitung *dmrGst* in die Erde'). Der Widerstand im Zweige *mrGsn* war ungefähr 1000 Otm. In eine Entfernung von 7 Mm. von der Kugel *a* (Durchmesser derselben 33 Mm.) des positiven Einsaugers wurde eine Messingkugel *c* (Durchmesser 21 Mm.) gestellt, von der ein Metalldraht zu dem Streifen von Messingblech, welcher die äußeren Belegungen der Maschinenflaschen mit einander verband, führte; von derselben Kugel *c* ging der Draht *cw* nach den Gasleitungsröhren. Als die Maschine in Gang gesetzt wurde, verbreitete sich die negative Elektrizität auf der äußeren Belegung der Batterie; die positive sammelte sich in der zum positiven Einsauger gehörenden Ladungsflasche, bis ein Funke zur Kugel *c* übersprang, wobei sich die Flasche entlud, um von neuem geladen zu werden. Die Gröfse der Batterieladung wird durch die Anzahl solcher Funken angegeben, welche beobachtet wurden, bis die Batterie entladen wurde. Die Entladung konnte auf zweierlei Weise geschehen. Wenn man, nachdem die Batterie mit einer gewissen Menge Elektrizität geladen worden, den hölzernen Klotz schnell fortstiefs, fiel die Kugel *l* auf *k* hinunter, wobei sich die Batterie entlud. Die zweite Art der Entladung bestand darin, daß die Kugel *l* in einem bestimmten Abstände (*der Schlagweite*) über *k* gestellt wurde. Die Maschine wurde nachher im Gange erhalten, bis sich die Batterie von selbst entlud, als die Elektrizität auf der Kugel *k* die nöthige Spannung erhalten hatte. Diese Entladungsart wurde immer, wenn es nicht besonders bemerkt wird, angewandt, weil sie gleichmäfsigere Ausschläge als die erst beschriebene Art gab.

Um die Abhängigkeit der Disjunction von der entladenen Elektrizitätsmenge *q* zu ermitteln, wurde eine Batterie von 1 bis 6 Flaschen zu einer bestimmten Schlagweite ge-

- 1) Ein Theil dieser Elektrizität ging durch das Galvanometer und versetzte die Nadel in kleine Oscillationen, deren Amplitude jedoch nimmer einen Scalenthail überschritt. Wenn die Ausschläge, welche gemessen werden sollten, sehr klein waren, wurde diese Fehlerquelle dadurch vermieden, daß der Draht *st* bei *r* befestigt wurde.

laden. Zu Polen für den Disjunctionsfunken wurden Zinnkugeln von 17 Mm. im Diameter angewandt. Wir führen hier die Mittel n der erhaltenen Ausschläge an, nebst den wahrscheinlichen Fehlern sf .

Reihe 1. Schlagweite 11 Mm., Funkenlänge 7 Mm.

Anzahl der Flaschen	s	1	2	3	4
Elektricitätsmenge (Mittel)	q	29	60	85,5	107
Ausschlag (Mittel)	u	41,1	47,7	51,9	51,8
	sf	$\pm 0,58$	$\pm 0,18$	$\pm 0,80$	$\pm 0,41$

Reihe 2. Schlagweite 11 Mm., Funkenlänge 6 Mm.

s	1 ¹⁾	2 ²⁾	1 ³⁾	1	2	3	4	5	6
q	9,7	16,2	23,0	29,5	53,3	82,7	108,7	133,5	154,5
u	14,7	21,8	18,6	27,9	29,8	32,2	34	34,5	36,6
sf	$\pm 1,62$	$\pm 0,89$	$\pm 0,74$	$\pm 0,80$	$\pm 0,59$	$\pm 0,65$	$\pm 0,43$	$\pm 0,45$	$\pm 0,49$

Wie man erwarten konnte, gaben die Ausschläge einen Strom an, welcher im Funken in entgegengesetzter Richtung gegen die Entladung ging. Aus den angeführten Reihen kann man die Schlussfolge ziehen, *dass der Ausschlag des Disjunctionsstromes freilich mit der Menge der entladenen Elektricität wächst, aber in immer abnehmendem Verhältniss, so dass derselbe sich einer Gränze nähert, welche er nicht zu überschreiten scheint.*

Man findet hier also den Disjunctionsstrom wesentlich verschieden von dem Entladungsstrom, denn dieser letztere verursacht Ausschläge, *welche der Menge der entladenen Elektricität proportional sind.* Wenn nämlich die Kugeln p und q so weit von einander entfernt wurden, dass kein Funke zwischen ihnen bei der Entladung überschlug, erhielt man folgende Ausschläge.

1) Hier wurde eine kleinere Ladungsflasche mit einer äußeren Belegung von 274 Quadrat-Cm. benutzt.

2) Die äußere Belegung jeder Flasche 274 Quadrat-Cm.

3) Die äußere Belegung 506 Quadrat-Cm.

Reihe 3. Schlagweite 11 Mm.¹⁾.

<i>s</i>	1	2	3	4	5	6
<i>q</i>	25	45,4	63,2	84	104	123,5
<i>u</i>	1,98	3,42	4,62	6,26	7,96	9,00
<i>sf</i>	$\pm 0,065$	$\pm 0,142$	$\pm 0,125$	$\pm 0,059$	$\pm 0,069$	$\pm 0,107$.

Dividirt man jedes *u* mit entsprechendem *q* und nimmt das Mittel der Quotienten, erhält man die Zahl 0,07525. Wenn nun der Ausschlag der Menge der entladenen Elektrizität proportional ist, so muß man durch Multiplication der Zahl 0,07525 mit dem Quotienten *q* Zahlen erhalten, welche sich wenig von den beobachteten Ausschlagszahlen unterscheiden. Die auf solche Weise berechneten Ausschläge sind folgende.

Flaschenzahl	1	2	3	4	5	6
Berechneter Ausschlag	1,88	3,42	4,76	6,32	7,83	9,29
Beobachteter Ausschlag	1,98	3,42	4,62	6,26	7,96	9,00
Differenz	-0,10	$\pm 0,00$	+0,14	+0,06	-0,13	+0,29.

Wenn wir keine Rücksicht auf die kleinen Differenzen nehmen, können wir also als Resultat dieser Reihe feststellen, daß der Ausschlag des elektrischen Entladungsstromes mit der Menge der entladenen Elektrizität in geradem Verhältnisse steht, auch wenn die Entladung durch einen kurzen metallischen Bogen stattfindet.

Reihe 4. Der Funkenapparat wurde bei *u* eingeschaltet; zwischen *m* und *n* wurde als Brücke ein 1260 Cm. langer Kabeldraht gesetzt. Schlagweite 11,3 Mm., Funkenlänge 7 Millimeter.

<i>s</i>	1	2	3	4
<i>q</i> ²⁾	36	60	86,5	111
<i>u</i>	$15,6 \pm 0,43$	$19,3 \pm 0,92$	$18,9 \pm 0,41$	$21,7 \pm 0,35$.

- 1) Vor dieser Versuchsreihe wurden die Kugeln *a* und *c*, sowie *k* und *l* von Neuem in gehörigen Abständen eingestellt, wobei ein geringer Unterschied der entsprechenden Abstände in den Reihen 1 und 2 entstanden seyn muß, welcher die Verkleinerung der zum Laden erforderlichen Elektrizitätsmenge erklärt.
- 2) In dieser Reihe waren die Kugeln *k* und *l* des Entladungsapparates mit zwei größeren (Diam. 17 Mm.) vertauscht.

Hier schlug die Nadel in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung aus; was die Gröfse des Ausschlages betrifft, so wird, wie man sieht, durch diese Reihe das aus den Reihen 1 und 2 hervorgegangene Gesetz bestätigt.

Man könnte möglicherweise vermuthen, daß das Vorhandenseyn eines Disjunctionsfunkens auf irgend eine eigenthümliche Weise den Entladungsstrom veränderte, so daß dessen Einfluß auf die Nadel des Galvanometers vergrößert und von der Quantität der Entladung beinahe unabhängig würde. Wäre dies der Fall, müßte man, wenn das Galvanometer zwischen l und n eingesetzt wird, mit Funken bei pq ähnliche Ausschläge wie in den Reihen 1, 2 und 4 erhalten. Diese Vermuthung bestätigte sich jedoch nicht; die Ausschläge wurden bei dieser Anordnung der Menge proportional und von derselben Gröfse, wie in der Reihe 3, befunden.

§. 7.

Um zu erforschen, ob die Tension irgend einen Einfluß auf den Ausschlag des Disjunctionsstromes habe, wurden folgende Versuche angestellt.

Die entladene Elektrizitätsmenge war bei allen zu derselben Reihe gehörenden Ausschlägen constant. Die Tension wurde dadurch vermindert, daß man die Flaschenzahl der Batterie vergrößerte; zugleich wurden die Kugeln k und l einander genähert, so daß (in den Reihen 2, 3 und 4) die Entladung von selbst eintrat, wenn dieselbe constante Elektrizitätsmenge in die Batterie eingeführt war. Nur in der Reihe 1 geschah die Entladung dadurch, daß man die Kugel l auf k hinunter fallen ließ. Die Mittel der erhaltenen Ausschläge¹⁾ sind nebst den wahrscheinlichen Fehlern in folgender Tabelle angeführt. Die Verticalcolumnen entsprechen an verschiedenen Tagen angestellten Versuchsreihen. Die Elektrizitätsmengen q weisen auf die Vertical-, die Flaschenzahl s auf

1) Es wurde immer eine desto größere Anzahl solcher genommen, je mehr sie hinsichtlich ihrer Gröfse variierten.

die Horizontalcolumnen hin. Funken bei pq zwischen Zinnkugeln. Funkenlänge 2 Mm.

Versuchsreihe	1	2	3	4
Elektricitätsmenge	$q = 28$	$q = 38$	$q = 38,8$	$q = 36,5$
Flaschenzahl $s = 1$	$3,8 \pm 0,53$	$8,0 \pm 0,62$	$3,7 \pm 0,11$	$5,0 \pm 0,39$
2	$18,0 \pm 2,0$	$8,4 \pm 0,55$	$4,0 \pm 0,17$	$5,6 \pm 0,21$
3	$32,6 \pm 2,29$	$10,5 \pm 0,92$	$5,0 \pm 0,30$	$6,6 \pm 0,55$
4	—	$19,0 \pm 1,66$	$6,3 \pm 0,23$	$15,2 \pm 1,05$

Diese Reihen führen zu folgenden Resultaten: 1) So lange die Tension bedeutend ist, hat eine Veränderung derselben wenig Einfluß auf den Ausschlag des Disjunctionsstromes. Die Tension $\frac{q}{s}$ muß nämlich von 39 bis wenigstens 20 abnehmen, ohne daß die Veränderung im Ausschlage den wahrscheinlichen Fehler übersteigt. 2) Die Tension darf bei einem bestimmten Abstände zwischen den Kugeln p und q nicht unter einem Minimalwerth sinken, sofern ein Funken daselbst gebildet werden soll. Bei den hier angeführten Versuchen entsprach dieser Minimalwerth der Schlagweite 10 Mm. (ungefähr) bei 2 Mm. Funkenlänge. Wenn die Tension sich diesem Minimum nähert, wird der Ausschlag des Disjunctionsstromes merklich erhöht, öfters (in den Reihen 1, 2 und 4) ganz bedeutend.

Daß die Tension ohne Einfluß auf den allein durch den Entladungsstrom hervorgebrachten Ausschlag ist, wird durch folgende Reihe bewiesen, in welcher die Kugeln p und q so weit von einander entfernt waren, daß sich kein Funken zwischen ihnen bei der Entladung zeigte.

s	1	2	3	4
q	35	40	40	40
$\frac{q}{s}$	35	20	13,3	10
u	2,5	3	3,03	2,96
sf	$\neq 0$	$\neq 0$	$\neq 0,023$	$\neq 0,027$

Der Ausschlag für $q = 40$ wird im Mittel 3 Scalenth.; für $q = 35$ müßte man also $u = \frac{35}{40} \cdot 3 = 2,63$ Scalenth. statt $u = 2,5$ erhalten. Der geringe Unterschied rührt

von dem Elektricitätsverlust her, welcher bei hoher Tension durch die Zerstreuung in die Luft entsteht.

§. 8.

Folgende Versuche wurden angestellt, um die Abhängigkeit des Ausschlages von der Funkenlänge zu erforschen. Die Anordnung zeigt die Fig. 5, Taf. V. Batterie 1 große Flasche; Schlagweite 11 Mm.

Reihe 1. Zinnkugeln.

Funkenlänge (Millim.)	2	3	4	5	6	7	8
Ausschlag	2,5	3,5	9	9	17	37	+ 58
	1,5	3,5	7	10	17	36	— 4
	1,5	4,5	5	11	19	49	+ 4
	2,0	2,5	6	11	22	36	+ 6
			6			39	— 44
							+ 4
							— 22
							— 12
							+ 60
Mittel	1,9	3,5	6,6	10,2	18,7	39,4.	

Reihe 2. Eisenkugeln.

Funkenlänge (Millim.)	2	5	6	7	8
Ausschlag	4	15	31	41	67
	4	15	45	59	47
	6	12	31	64	46
	4	14	37	44	7
				39	45
				44	4
				42	47
					47
					50
Mittel	4,5	14	33,5	47,6.	

Diese Reihen zeigen, daß der Ausschlag mit der Funkenlänge wächst. Wenn die Zinnkugeln angewandt werden, weichen die einzelnen Ausschläge bei irgend einer Funkenlänge wenig vom Mittel ab, so lange der Funken $p q$ nicht 7 Mm. Länge überschreitet. Wird der Funken länger, hört der Ausschlag auf constant zu seyn, wie die

Zahlen bei Funkenlänge = 8 Mm. zeigen. Nicht einmal die Bewegungsrichtung der Nadel liefs sich dann im Voraus bestimmen. Die Ausschläge ohne Zeichen sowie die mit + bezeichneten gaben wie gewöhnlich einen Strom an, der im Funken in entgegengesetzter Richtung gegen den Entladungsstrom ging; wogegen die Nadel bei den mit — bezeichneten im Sinne eines diesem Strome gleichgerichteten ausschlug. Auch mit Eisenkugeln wurden, wie die Reihe 2 zeigt, die Ausschläge bei 8 Mm. Funkenlänge variabel; doch blieb ihre Richtung die gewöhnliche. Die Ursache dieser Variationen soll unten (§. 10) angedeutet werden. Bei gröfserem Abstände zwischen den Polen als 8 Mm. schlug der Funken nicht über.

§. 9.

Hr. Prof. Edlund hat in einem Aufsatz¹⁾ seine Ueberzeugung ausgesprochen, dafs auch der Funken, welcher bei der Entladung zwischen zwei Wassermassen entsteht, elektromotorisch ist. Um dies experimentell nachzuweisen, wurden folgende Versuche angestellt.

Der positive Pol *p* (Fig. 5, Taf. V.) bestand aus der freien Oberfläche des Wasser in einem cylindrischen Messinggefäfse; als negativer Pol diente eine senkrechte Wassersäule, welche in einer am oberen Ende verschlossenen Glasröhre vom Luftdrucke getragen wurde. Das untere Ende der Wassersäule stand 3 bis 5 Mm. über der Wasserfläche im Gefäfse; ihr oberes Ende war in leitender Verbindung mit *n*. Wenn dem Wasser einige Tropfen Schwefel- oder Salpetersäure zugesetzt wurden, erhielt man, wenn eine grofse Flasche (zu 11 Mm. Schlagweite geladen) entladen wurde, immer einen Funken bei *pq*. Eine gröfsere Anzahl Ausschläge wurde sowohl mit als ohne Funken bei *pq* genommen; die Mittel der erhaltenen Ausschlagszahlen sind folgende.

1) *Oev. af K. Vet.-Akad. Förh.* 1869, S. 705. *Pogg. Ann.* Bd. 139, S. 368.

	Funken bei pq	Ohne Funken	Funken bei pq
Ausschlag (Mittel)	$2,5 \pm 0,042$	$1,96 \pm 0,026$	$2,24 \pm 0,063$

Die Ausschläge mit und ohne Funken bei pq geschahen nach derselben Seite der Scale. Ein zweiter Versuch, wobei die kleinen Flaschen der Elektromaschine als Ladungsapparat benutzt wurden, gab für den continuirlichen Strom (6 Funken in der Secunde) folgende

	Funken bei pq	Ohne Funken	Funken bei pq
Ausschlag (Mittel)	$1,68 \pm 0,07$	$1,0 \pm 0$	$1,75 \pm 0,083$

Darauf wurde der Funkenapparat in die Leitung zwischen m und v bei u eingesetzt; die Punkte m und n wurden durch eine metallische Leitung verbunden. Bei der Entladung einer Batterie von 4 grossen Flaschen (Schlagweite 11 Mm.) erhielt man den Ausschlag $0,83 \pm 0,033$ Scalenth., einen Strom von entgegengesetzter Richtung gegen den Entladungsstrom anzeigend.

Diese Versuche zeigen, daß ein Disjunctionsfunken zwischen zwei Wassermassen den Ausschlag des Entladungsstromes ganz auf dieselbe modificirt wie ein solcher Funken zwischen Metallpolen. Daraus folgt, daß auch die Entladung zwischen zwei Wassermassen von einem Disjunctionsstrom begleitet ist.

§. 10.

Eine elektrische Entladung durch die Luft zwischen zwei Metallkugeln hinterläßt immer auf denselben Spuren des Funkens¹⁾. Um zu erforschen, in wie fern die Beschaffenheit dieser Spuren in irgend einem Zusammenhange mit dem Ausschlage des Disjunctionsstromes steht, wurden nachfolgende Versuche angestellt.

Bei der gewöhnlichen Anordnung (Fig. 5, Taf. V) wurde der Funke zwischen p und q so lang genommen, als es

1) Priestley war der erste, der die Spuren eines elektrischen Funkens zwischen zwei Metallflächen genauer beobachtete (*Histoire de l'électricité*, T. III, p. 325 ff.). Er redet (S. 328 bis 330) von zwei verschiedenartigen Spuren, welche identisch mit den hier beschriebenen Narben und glänzenden Flecken zu seyn scheinen.

bei der vorhandenen Schlagweite nur möglich war. Nach jeder Entladung wurde die Beschaffenheit der Funken Spuren auf den Kugeln *p* und *q* (von Zinn) beobachtet und zugleich der Ausschlag gemerkt. Vor jedem Versuche wurden die Spuren der vorhergehenden Entladung entfernt, so daß der Funken immer zwischen glattpolirtem Metall überschlug. In der Reihe 1 bestand die Batterie aus einer großen Flasche, in den Reihen 2, 3 und 4 aus zwei solchen. Die Schlagweite war 3 Mm., die Funkenlänge 1 bis 2 Mm. Die mit + bezeichneten Ausschläge gingen nach den höheren Zahlen der Scale, die mit — nach den niedrigeren.

Versuchsreihen	1.	2.	3.	4.
	— 37°	+58°	—70°	+ 8°
	+ 28°	—62°	— 1°	—20°
	— 16°	— 2°	—61°	+ 8°
	— 25°	—10°	—34°	+28°
	+ 8°	— 2°	—18°	— 2°
	— 5°	—27°	— 2°	—27°
	— 2°	— 6°	—60°	+20°
	—100°	— 2°	—65°	+25°
	— 96°	— 1°	—42°	—22°

Wie man sieht, variiren die Ausschläge außerordentlich sowohl der Größe als der Richtung nach. Man könnte Verdacht haben, daß etwa elektrische Ladungen des Galvanometerdrahtes die Ursache dieser Variationen wären. Das dies nicht der Fall war, wurden durch denselben Versuch dargelegt, den Hr. Edlund zu diesem Zweckersonnen hat ¹⁾. Die wahrscheinliche Ursache dieser Variationen, die nicht vorkamen, wenn der Funken *pq* eine im Verhältniß zur Schlagweite mäßige Länge hatte, soll am Ende dieses Paragraphen angegeben werden, weshalb wir sogleich zu den Beobachtungen der Funken Spuren übergehen. So oft man einen nicht allzu kleinen Ausschlag erhielt, zeigte sich zwischen den Polen ein bestimmter Unterschied in der Beschaffenheit dieser Spuren. Auf der

1) *Oef. af K. Vet.-Akad. Förh.* 1868, p. 462 *Pogg. Ann.* Bd. 136, S. 343.

einen Kugel, welche hier *A* genannt werden soll, bestanden dieselben aus mehr oder weniger tiefen *Narben* (Vertiefungen) mit auswärts gebogenen zackigen Rändern, deutlich zu erkennen gebend, daß diese Narben dadurch entstanden, daß Metallpartikeln von der Fläche der Kugel losgerissen und fortgeführt worden waren. Auf der anderen Kugel, *B* genannt, konnten in den meisten Fällen, wenn der Ausschlag bedeutend war, keine solche Narben entdeckt werden; aber als etwas für diese Kugel Charakteristisches fanden sich daselbst sehr kleine *runde metallisch glänzende Flecke*; bei Vergrößerung zeigte sich in der Mitte derselben eine flache Vertiefung, von einigen erhöhten concentrischen Rändern umgeben. Diese Flecke waren ohne Zweifel aus den von der Kugel *A* losgerissenen Partikeln gebildet, welche sich im geschmolzenen Zustande auf die Kugel *B* abgesetzt hatten¹⁾. Bei geringen Ausschlägen zeigten sich auch auf *B* Narben solcher Art wie auf *A*, woneben die Anzahl der glänzenden Flecke vermindert wurde, so daß *der charakteristische Unterschied zwischen den Funkenspuren auf A und B mit dem Ausschlage abnahm*. Nach sehr kleinen Ausschlägen (1 bis 2 Scalenth.) konnte kein Unterschied zwischen den auf den Kugeln befindlichen Zeichnungen beobachtet werden, obgleich beide angegriffen und mit Narben versehen waren. Was die Richtung des Ausschlages betrifft, gab sie immer, falls jede Kugel mit den ihr eigenthümlichen Funkenspuren versehen war, einen Strom an, *welcher im Funken von B nach A ging*. Im oben angeführten Ausschlagsreihen ist durch einen Stern angedeutet, daß man den eben beschriebenen Zusammenhang zwischen der GröÙe und

1) Wenn zwei Zinnkugeln als Pole für einen Disjunctionsfunken von mäßiger Länge in einer größeren Anzahl Versuchen angewandt wurden, ohne daß man die Spuren nach jeder Entladung entfernte, zeigte sich auf *A* ein großer zerschmolzener Fleck, auf *B* ein niedriger Kegel, — ein deutlicher Beweis davon, daß eine größere Menge Metallpartikel von *A* nach *B* übergeführt war, als umgekehrt.

Richtung des Ausschlages und den auf den Kugeln befindlichen Funkenspurten beim Versuche beobachten konnte. Zwei Sterne bezeichnen, daß sich kein Unterschied zwischen den Zeichnungen auf den Kugeln gezeigt hatte; dies war, wie man sieht, nur bei sehr kleinen Ausschlägen der Fall.

Zwischen den Zeichnungen auf den Kugeln k und l des Entladungsapparates war kein charakteristischer Unterschied zu entdecken. Auch wenn eine größere Menge Funken nach einander zwischen denselben Stellen der Kugeln überschlug, zeigten sich diese vollkommen gleich angegriffen. Die Ursache hierzu ist ohne Zweifel die, daß die Entladung durch einen kurzen metallischen Bogen, wie Feddersen gezeigt hat¹⁾, oscillatorisch ist, d. h. der Entladungsstrom besteht aus mehreren hin und her gehenden Strömen. Da also bald die Kugel k , bald l den Ausgangspunkt für z. B. die positive Elektrizität ausmachte, ist es nicht zu verwundern, daß sie beide gleich angegriffen wurden. Der auffallende Unterschied zwischen den Zeichnungen auf den Kugeln p und q muß in Analogie hiermit seinen Grund darin haben, daß bei der elektrischen Entladung zwischen ihnen nur eine Oscillation (oder doch nur eine geringere Anzahl solcher) ihre Spuren auf die Kugeln zurückläßt, d. h. Zerreibung und Disjunctionsstrom hervorruft²⁾.

1) Pogg. Ann. Bd. 113, S. 437. Bd. 116, S. 132.

2) Hiemit stimmen Feddersen's Beobachtungen überein (Pogg. Ann. Bd. 112, S. 456 und Bd. 116, S. 134). Auch er fand keinen Unterschied zwischen den Zeichnungen auf den Kugeln, wenn die Entladung durch einen kurzen metallischen Leiter geschah und somit oscillatorisch war. Wurde dagegen ein größerer Widerstand in den Entladungsbogen eingefügt, so daß sich nur die erste der Querabtheilungen im rotirenden Spiegel zeigte, so konnten die beiden Kugeln mittelst der Funkenspurten sehr gut von einander unterschieden werden: auf der positiven Kugel zeigte sich ein kleiner energischer Eindruck, auf der negativen ein leichter Schleier, über einen größeren Theil der Fläche ausgebreitet. Auch bei meinen Versuchen waren die kleinen Flecke (siehe oben) der Kugel B auf einen gefärbten Oxydüberzug gestreut.

Auf diesen Umstand kann man eine Erklärung der in §§. 6 bis 8 erhaltenen Resultate gründen.

Die Versuche in §. 6 zeigten, daß der Ausschlag bei unveränderter Spannung mit der Elektrizitätsmenge auf die Weise wächst, daß er sich immer mehr einem Maximalwerthe nähert. Die Zeichnungen auf den Polflächen gaben hierzu folgende Versuche an. So lange die Batterie aus nicht mehr als zwei großen Flaschen bestand, zeigte sich auf dem positiven Pole nur eine Menge unregelmäßig geordneter Vertiefungen (Narben), auf dem negativen nur die kleinen glänzenden Flecke. Folglich hatte in diesem Falle nur die erste Oscillation einen kräftigen Disjunctionsstrom verursacht. Die Spuren nahmen übrigens mit der Fläche der Batterie in der Anzahl zu: dieser Umstand erklärt den anfänglich schnellen Zuwachs des Ausschlages. Daß er desungeachtet ein Maximum nicht überschreitet, hat wahrscheinlich seinen Grund darin, daß, wie die Spuren auf den Polflächen andeuteten ¹⁾, bei größerer Batteriefäche (drei oder mehrere Flaschen) auch die zweite Oscillation von einem merkbaren Disjunctionsstrom begleitet war, wodurch der Zuwachs in der Stärke des ersten Stromes schließlich aufgehoben wird.

Wie es möglich ist, daß die zweite Oscillation bei größerer Batteriefäche Zerreibung hervorbringen kann, obgleich dieses bei gleicher Schlagweite und Funkenlänge bei geringer Capacität der Batterie nicht eintritt, läßt sich auf folgende Weise einsehen. Die Menge der entladenen Elektrizität wächst, wenn die Schlagweite constant ist, in Proportion mit der Anzahl der Flaschen, wogegen nach Feddersen ²⁾ die Dauer der Oscillation nur wie die Quadratwurzel aus der Flaschenzahl zunimmt. Das Verhältniß zwischen Menge und Dauer, worauf die Intensität beruht, muß also mit der Fläche der Batterie wachsen. Nun ist freilich die Quantität der zweiten Os-

1) Auch auf dem negativen Pole zeigten sich bei größeren Batteriefächen merkbare Narben.

2) Pogg. Ann. Bd. 116, S. 153.

cillation geringer als die der ersten; aber nach v. Oettingen¹⁾ kann das Verhältniß der Elektrizitätsmenge in einer Oscillation (Alternation) zu der Menge der vorhergehenden ziemlich groß seyn. Bei dem geringsten Widerstande (1500 Meter eines 0,2 Mm. dicken Kupferdrahtes) war dieses Verhältniß m (welches wächst, wenn der Widerstand im Entladungsbogen abnimmt) $= 0,69$; weil der hier angewandte Bogen einen unvergleichlich viel geringeren Widerstand hat, ist m aller Wahrscheinlichkeit nach größer, so daß die zweite Oscillation, welche wie alle die folgenden gleiche Dauer mit der ersten hat²⁾, wenig geringer intensiv als diese ist. Deshalb ist es möglich, daß bei großer Batteriefäche auch durch die zweite Oscillation ein kräftiger Disjunctionsstrom hervorgebracht wird.

Was ferner das Resultat der Versuche in §. 7 betrifft, wird dieses nach denselben Principien sehr leicht erklärt. So lange die Batteriefäche klein und folglich die Spannung sehr groß war, hatte auch die zweite Oscillation Intensität genug, um mit Zerreibung der Polflächen überzuschlagen, da der Funken im Verhältniß zur Schlagweite kurz war. Die Spuren auf den Kugeln zeigten in diesem Falle unzweideutig zwei (oder vielleicht mehrere) gegen einander gehende Disjunctionsströme an, weshalb der Ausschlag unbedeutend wurde. Wenn die Batteriefäche größer wird, nimmt die Dauer der Oscillation ab³⁾. Weil nun die Elektrizitätsmenge constant erhalten wird, muß die Intensität der Oscillationen bei fortgesetzter Vergrößerung der Fläche, beständig abnehmen; bei einer hinreichend kleinen Capacität der Batterie ist somit der Entladungsschlag so schwach, daß die zweite Oscillation nicht mehr eine Zerreibung hervorbringen kann, welche der Größe nach mit der der ersten Oscillation zu vergleichen ist, weshalb der Disjunctionsstrom derselben allein vorherr-

1) Pogg. Ann. Bd. 115, S. 524.

2) Feddersen, Pogg. Ann. Bd. 116, S. 150.

3) Die Oscillationsdauer ist nach Feddersen (Pogg. Ann. Bd. 116, S. 152) unabhängig von der Schlagweite.

schend wird und den bei großer Batteriefäche oft sehr bedeutenden Ausschlag verursacht. Auch waren die Polflächen in solchen Fällen charakteristisch verschieden gezeichnet.

Wenn die Intensität des Entladungsstromes constant gehalten wird, wie in §. 8, beruht es auf der Länge des Funkens, in wie fern nur ein Disjunctionsstrom oder mehrere solche bei der Entladung entstehen. Wenn der Funken kurz ist, existiren mehre hin- und hergehende Disjunctionströme, weshalb der Ausschlag klein wird. Je länger der Funken gemacht wird, desto mehr werden der zweite und die folgenden Ströme geschwächt, so daß bei einer gewissen Funkenlänge der erste Strom mit seiner vollen Kraft wirkt. Daneben muß die Elektrizität bei einem größeren Abstände zwischen den Polen größere Tension bekommen, ehe der Funken überspringt, weshalb die Seitenentladung intensiver und die Zerreibung größer wird. Es ist also nicht zu verwundern, daß der Ausschlag in weit größerer Proportion als die Funkenlänge zunimmt.

Hat der Funken die größtmögliche Länge, die er bei der gegebenen Schlagweite erhalten kann, erreicht, so werden die Ausschläge der Größe nach schwankend und wechseln die Richtung (siehe die Ausschläge bei 8 Mm. Funkenlänge in §. 8 sowie die im Anfang dieses Paragraphen). Dies kann so erklärt werden, daß die Seitenentladung bei pq bei sehr großer Funkenlänge nicht immer gleich zu Anfang der Entladung eintritt. Es kann nämlich mitunter geschehen, daß die erste Oscillation größtentheils (oder sogar ganz) ohne andere Wirkung als Influenz auf die Molecüle in der Luftschicht zwischen den Polflächen verläuft, wodurch diese Molecüle in Bewegung gesetzt werden und somit das Eintreten der Seitenentladung in einem späteren Momente der Oscillation erleichtert wird. Wenn der Disjunctionsfunken gleichzeitig mit der Entladung selbst entsteht, wird natürlich der Disjunctionsstrom in Hinsicht der großen Funkenlänge sehr kräftig und die

Magnetnadel schlägt in gewöhnlicher Richtung mit einer bedeutenden Anzahl Scalentheile aus. Je später die Seitenentladung eintritt, desto weniger gewaltsam wird sie; in gleichem Maasse nehmen auch alle begleitenden Phänomene, nämlich Zerreibung, Disjunctionsstrom und Einwirkung auf die Luftschicht zwischen den Polen ab. Man muß nämlich annehmen, daß die Molecüle in derselben desto gewaltsamer aus der Funkenstrecke geschleudert werden, je heftiger die Seitenentladung ist. Wenn diese aber schwach ist, wird die Veränderung der Dichtigkeit der Luftschicht unbedeutend, so daß die zweite Oscillation, welche, wie oben gezeigt wurde, recht große Intensität haben kann, eine in demselben Maasse größere Zerreibung hervorbringt als die Seitenentladung während der ersten Oscillation später eintritt.

Es ist also möglich, daß der Disjunctionsstrom der zweiten Oscillation schließlic vorherrscht, so daß die Richtung des Ausschlages wechselt. Dieser Strom erreicht seine höchste Intensität, wenn die ganze erste Oscillation verläuft, ohne daß wirkliche Seitenentladung eintritt. — Daß bei geringeren Ausschlägen (nach der einen oder anderen Seite der Gleichgewichtslage) zwei schwächere Disjunctionsströme wirksam waren, beweisen sowohl die in solchen Fällen wenig energischen Spuren des Funkens, als auch dessen verminderter Glanz, welche Umstände darauf hindeuten, daß sich nur eine geringere Anzahl Metallpartikel im Funken befanden. Nach größeren Ausschlägen konnten die Pole immer durch die oben beschriebenen Funkenspurten von einander unterschieden werden.

Nach dem in diesem Paragraph Angeführten scheint der durch eine Seitenentladung verursachte Funken, seinem Verlauf nach, von einem gewöhnlichen Funken zwischen den Kugeln des Entladungsapparates wesentlich verschieden zu seyn. Es wäre deshalb von Wichtigkeit, daß der Verlauf des Disjunctionsfunkens genauer untersucht würde. Ohne Zweifel würde eine Untersuchung dieses Funkens

mit dem rotirenden Spiegel (nach Feddersen's Methode) in Bezug auf dessen Eigenschaften und den damit zusammenhängenden Disjunctionsphänomenen viel sicherern Aufschluß liefern, als die Spuren auf den Polflächen geben können. Deshalb beabsichtige ich, so bald sich nur Zeit und Gelegenheit darbieten, eine solche Untersuchung vorzunehmen.

Die Resultate der vorhergehenden Untersuchung sind folgende:

1. Die von Hrn. Prof. Buff (*Ann. der Chemie und Pharmacie* Bd. 86, S. 293) beobachteten Galvanometerausschläge hatten ihre Hauptursache in elektrischen Disjunctionsströmen; doch wurde die Gröfse dieser Ausschläge durch gleichzeitig wirksame Inductionsströme modificirt.

2. Die Zerreibung der Polflächen und die darauf beruhende elektromotorische Kraft der Disjunction wird einigermaßen durch in der Leitung wirksame Inductionsströme verändert; die Art dieser Veränderung ist abhängig von der Stelle in der Leitung, woselbst Induction stattfindet.

3. Wenn man den Entladungsstrom in beiden Zweigen des Entladungsbogens Funken bilden läßt (wie in §. 5), wird der Ausschlag durch den Disjunctionsstrom des längeren Funkens bestimmt. Dieses ist ein einfaches Verfahren, das Daseyn des Disjunctionsstromes anschaulich zu machen, woneben dieser Versuch beweist, daß die elektromotorische Kraft des Funkens mit seiner Länge wächst.

4. Der elektrische Disjunctionsstrom verursacht einen Ausschlag, der in schwächerem Verhältniß als die entladene Elektrizitätsmenge wächst und sich einem Maximalwerthe zu nähern scheint. Dagegen ist der Ausschlag des Entladungsstromes der entladenen Elektrizitätsmenge proportional. Der Disjunctionsstrom ist also in dieser Hinsicht von dem Entladungsstrom wesentlich verschieden.

5. Der Ausschlag des Disjunctionsstromes ist bei constanter Elektrizitätsmenge unabhängig von der Tension, so lange diese groß ist, wächst aber, wenn die Tension sich

dem Minimalwerthe nähert, wobei Seitenentladung nicht mehr eintritt.

6. Der Grund zu den in §. 6 und 7 erhaltenen Resultaten, sowie zu den Variationen in der Richtung und Gröfse des Ausschlages, welche bei sehr langen Disjunctionsfunken vorkommen, scheint in dem Umstande zu liegen, dafs die Entladung, wenn der Widerstand im Entladungsbogen (wie hier) klein ist, aus mehreren hin- und hergehenden Strömen (Oscillationen) besteht. Es beruht auf der Intensität der Entladung und auf der Länge des Funkens, in wie fern nur die erste oder auch die folgenden dieser Oscillationen Disjunctionsströme zu Stande bringen.

7. Auch der Funken, welcher sich bei elektrischer Entladung zwischen zwei Wassermengen zeigt, ist elektromotorisch.

II. Ueber die durch Aetherschwingungen erregten Mitschwingungen der Körpertheilchen und deren Rückwirkung auf die ersteren, besonders zur Erklärung der Dispersion und ihrer Anomalien; von W. Sellmeier.

(Fortsetzung von S. 421.)

§. 5.

Der Erfahrung zufolge zeigt ein natürlicher Lichtstrahl nie eine Polarisirung, weder eine lineare, noch eine kreisförmige, noch eine elliptische. Dagegen lehrt die Theorie, dafs in einem homogenen Lichtstrahl, aus wie viel Theilen man ihn auch zusammensetzen möge, die Bahn, welche ein Aethertheilchen zu einer Zeit durchläuft, nothwendig eine Ellipse ist, wenn man mit diesem Worte auch den Kreis (beide Ellipsenaxen einander gleich) und die gerade

Linie (kleine Axe gleich Null) umfaßt; d. h. es kann ein solcher Strahl nicht anders gedacht werden, als zu jeder Zeit polarisirt, sey es elliptisch, oder kreisförmig, oder geradlinig. Um diesen scheinbaren Widerspruch zu heben, ist die Annahme nothwendig, daß die elliptische Bahn des Aethertheilchens Veränderungen unterworfen ist, und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daß innerhalb jeder noch so kurzen bemerkbaren Zeit alle transversalen Schwingungsrichtungen gleich stark vertreten sind, und daß in derselben kurzen Zeit die beiden Richtungen, in welchen das Aethertheilchen die Bahn durchlaufen kann, gleich oft vorkommen; es müssen nämlich in diesem Falle die in dem erwähnten Zeitraume nach einander vorkommenden Polarisationszustände des Strahls im Gesichtseindrucke sich gegenseitig aufheben und können daher nicht zur Wahrnehmung gelangen.

Andererseits haben Fizeau und Foucault im Sonnenlicht Interferenzen wahrnehmen können bei einem Gangunterschiede von fast 4000 Wellenlängen; ja später hat Fizeau im Natriumlicht noch bei einer Wegdifferenz von 50,000 Wellenlängen Interferenzen beobachtet. Dies beweist, daß jene Veränderungen der Bahnellipse des Aethertheilchens keine plötzlichen seyn können, sondern daß sie, im Verhältniß zur Geschwindigkeit der Schwingungen, sehr langsam und stetig erfolgen, mögen sie sich beziehen auf die Lage der Ellipsenaxen, oder auf deren absolute Größe und ihr Verhältniß zu einander, oder auf die Richtung, in welcher das Aethertheilchen die Bahn durchläuft, diese Richtung dadurch wechselnd, daß die kleine Axe durch den Werth Null hindurchgeht.

Zerlegt man nun einen natürlichen homogenen Lichtstrahl in zwei senkrecht auf einander polarisirte, bringt die letztern dann in eine einzige Polarisationsebene und läßt sie mit einander interferiren, so kann man aus dem vorhergehenden schließen, daß innerhalb jeder noch so kurzen bemerkbaren Zeit alle möglichen Phasenunterschiede zwischen beiden Strahlen in gleichem Grade vertreten

seyn, und daß daher die in demselben kurzen Zeitraum nach einander folgenden Interferenzwirkungen in dem einheitlichen Lichteindrücke sich gegenseitig aufheben werden, oder daß, wie man es etwas uneigentlich auszudrücken pflegt, solche Strahlen niemals interferiren können, ganz so, wie es mit der Erfahrung übereinstimmt.

Gegenwärtig ist jedoch nur das Verhalten der *Schwingungsamplitude* in einem linear polarisirten Strahl für unsern Gegenstand von Interesse. In Bezug auf diese folgt aus obiger Eigenschaft des natürlichen Lichts:

Die Schwingungsamplitude in einem linear polarisirten homogenen Lichtstrahl ist nicht constant, sondern veränderlich; sie ändert sich aber nicht plötzlich oder sprungweise, sondern im Verhältniß zur Geschwindigkeit der Schwingungen sehr langsam und continuirlich.

Auch sieht man ein, daß die Amplitude zu Zeiten zum Werthe Null herabsinken und daß alsdann die Phase sich um eine halbe Undulation ändern wird. Für die mittlere Anzahl derjenigen Schwingungen, welche von zwei benachbarten Nullwerthen eingeschlossen sind, und welche wir eine *Schwingungsreihe* nennen wollen, könnte man aus obigen Interferenzbeobachtungen eine untere Gränze bestimmen. Sollen nämlich die beiden Zweige eines Strahls bei ihrer Wiedervereinigung eine bemerkbare Interferenzwirkung hervorbringen, so müssen die zusammenfallenden Schwingungen öfter einer und derselben, als zwei verschiedenen Schwingungsreihen angehören. Demnach muß im Sonnenlicht eine Schwingungsreihe durchschnittlich mehr als 8000, im Natriumlicht mehr als 100,000 Schwingungen enthalten. Indefs sind jedenfalls diese Zahlen viel zu klein, besonders die erstere; denn aus den bekannten Oscillationsdauern des Lichts folgt mit Evidenz, daß wenn in einer Secunde eine Million Schwingungsreihen auf einander folgten, jede derselben doch durchschnittlich aus mehr als 400 Millionen Schwingungen bestehen würde. Aus der GröÙe dieser Zahlen läßt sich auch abnehmen, daß es wohl eine vergebliche Mühe seyn würde, wenn man

einen Strahl so schnell unterbrechen wollte, daß dadurch der vorhin hervorgehobene Satz von der Allmähigkeit der Amplitudenänderung seine Gültigkeit verlöre.

Da nun nach dem vorigen Paragraphen die Verschiebungen ξ_0 , η_0 , ζ_0 des Gleichgewichtsortes jedes Körpertheilchens der Verschiebung ϱ' des Aethers im linear polarisirten Strahl proportional sind, so müssen auch die Schwingungen dieses Gleichgewichtsortes nach jeder der drei Schwingungsaxen aus eben solchen Schwingungsreihen bestehen, deren Amplitude, mit Null beginnend und endend, langsam und stetig zu- und abnimmt. Bei der Integration der Gleichung (2) wurde stillschweigend angenommen, daß die Amplitude a_0 constant sey, und es ist daher zu untersuchen, welchen Einfluß ihre Veränderlichkeit auf die Integralgleichungen (3) und (4) ausübt.

Das Zu- und Abnehmen der Schwingungsamplitude des Aethers, also auch der des Gleichgewichtsortes des Körpertheilchens, kann man offenbar ansehen als erzeugt durch das successive Entstehen und Verschwinden von aufeinander gelagerten gleichphasigen elementaren Schwingungsreihen, deren Amplitude unendlich klein, aber constant ist. Das Entstehen wie das Verschwinden jeder dieser elementaren Reihen erzeugt nun Schwingungen des Körpertheilchens, welche einer der Gleichungen (3) und (4) entsprechen müssen, und welche sich ebenfalls auf einander lagern.

Angenommen, es bestehe die Amplitude a_0 aus den zu den Zeiten t_1 , t_2 , $t_3 \dots$ entstandenen unendlich kleinen Elementen $A(a_0)_1$, $A(a_0)_2 \dots$, so daß

$$\xi_0 = [A(a_0)_1 + A(a_0)_2 + \dots] \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau}$$

ist. Dann sind, wenn die Schwingungsdauern δ und τ von einander abweichen, die zu denselben Zeiten entstehenden *wesentlichen* Schwingungen des Körpertheilchens folgende:

$$\frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} A(a_0)_1 \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau}, \quad \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} A(a_0)_2 \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau} \dots,$$

Durch die Aufeinanderlagerung derselben entsteht die Summe

$$\frac{t^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t + \alpha}{\tau},$$

und man sieht also, daß der Ausdruck für die wesentlichen Schwingungen der Gleichung (3) durch die Veränderlichkeit der Amplitude a_0 keinen Einfluß erleidet.

Sind dagegen die Schwingungsdauern δ und τ einander gleich, so ist die Summe der zu den Zeiten $t_1, t_2 \dots$ entstandenen wesentlichen Schwingungen des Körpertheilchens folgende:

$$- \pi \left[\frac{t - t_1}{\delta} A(a_0)_1 + \frac{t - t_2}{\delta} A(a_0)_2 + \dots \right] \cos 2\pi \frac{t + \alpha}{\delta}.$$

Bezeichnet man also die Amplitude der durch den vorstehenden Ausdruck dargestellten Schwingungen mit a , so muß dieselbe stets der Gleichung

$$\frac{da}{dt} = \frac{\pi}{\delta} a_0$$

genügen.

Was endlich die nach einander entstehenden *unwesentlichen* Schwingungen des Körpertheilchens anbetrifft, so haben diese nicht, wie die wesentlichen, gleiche Phase; während bei den letztern der Werth von α überall derselbe, nämlich der in den Schwingungen des Gleichgewichtsorts vorkommende ist, durchläuft bei den unwesentlichen Schwingungen die GröÙe β alle zwischen 0 und δ liegenden Werthe, und zwar sind im Allgemeinen alle diese Werthe in gleichem Grade vertreten. Die Folge davon ist, daß die aus der Aufeinanderlagerung dieser Schwingungen resultirende Gesamtamplitude nicht die Summe der unendlich kleinen Einzelamplituden ist, sondern daß vielmehr das *Quadrat* der Gesamtamplitude gleich ist der Summe der *Quadrate* der Einzelamplituden; und daraus folgt, daß die Gesamtamplitude immer unendlich klein bleibt. Wir wollen dies in Bezug auf die unwesentlichen Schwingungen der Gleichung (3), wo dies

Resultat von besonderer Wichtigkeit ist, specieller ausführen.

Es gehe zur Zeit t' die Amplitude a_0 des Gleichgewichtsorts in $a_0 + \Delta a_0$ über, und es werden dadurch die unwesentlichen Schwingungen

$$\Delta b \sin 2\pi \frac{t+\beta}{\delta}$$

erzeugt. Wenn also vor der Zeit t'

$$\xi = \frac{t^2}{t^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau} + b \sin 2\pi \frac{t+\beta}{\delta}$$

war, so ist nach derselben

$$\xi = \frac{t^2}{t^2 - \delta^2} (a_0 + \Delta a_0) \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau} + b \sin 2\pi \frac{t+\beta}{\delta} + \Delta b \sin 2\pi \frac{t+\beta}{\delta}.$$

Zur Zeit t' kann ξ nur Einen Werth haben, und es müssen daher in Bezug auf diese Zeit beide Ausdrücke einander gleich seyn. Daraus folgt

$$\Delta b \sin 2\pi \frac{t'+\beta}{\delta} = - \frac{t'^2}{t'^2 - \delta^2} \Delta a_0 \sin 2\pi \frac{t'+\alpha}{\tau}.$$

Ebenso muß die aus beiden Gleichungen bestimmte Geschwindigkeit $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ für die Zeit t' dieselbe seyn, woraus folgt

$$\Delta b \cos 2\pi \frac{t'+\beta}{\delta} = - \frac{\delta}{\tau} \cdot \frac{t'^2}{t'^2 - \delta^2} \Delta a_0 \cos 2\pi \frac{t'+\alpha}{\tau}.$$

Aus den letzten beiden Gleichungen ergibt sich für den Werth von β

$$(a) \quad \operatorname{tg} 2\pi \frac{t'+\beta}{\delta} = \frac{\tau}{\delta} \operatorname{tg} 2\pi \frac{t'+\alpha}{\tau},$$

und für die Amplitude Δb

$$(b) \quad \Delta b^2 = \left(\frac{t'^2}{t'^2 - \delta^2} \Delta a_0 \right)^2 \left(\sin^2 2\pi \frac{t'+\alpha}{\tau} + \frac{\delta^2}{\tau^2} \cos^2 2\pi \frac{t'+\alpha}{\tau} \right).$$

Hätte a_0 um Δa_0 ab- statt zugenommen, so würde man, $-\Delta a_0$ für Δa_0 setzend, dieselben Werthe für β und Δb erhalten haben.

Nimmt nun in dem Zeitraum von t_1 bis t_2 die Amplitude des Gleichgewichtsortes r Mal um eine Gröfse Δa_0

zu oder ab, so werden dadurch r unwesentliche Schwingungsreihen erzeugt, welche sich auf einander lagern, und indem man die daraus resultirenden Schwingungen durch

$$c \sin 2\pi \frac{t+\gamma}{\delta}$$

darstellt, hat man

$$\begin{aligned} c \sin 2\pi \frac{t+\gamma}{\delta} &= \Delta b_1 \sin 2\pi \frac{t+\beta_1}{\delta} + \Delta b_2 \sin 2\pi \frac{t+\beta_2}{\delta} + \dots \\ &= \Sigma \Delta b \sin 2\pi \frac{t+\beta}{\delta}, \end{aligned}$$

wo die Werthe von $\beta_1, \beta_2 \dots$ und die von $\Delta b_1, \Delta b_2 \dots$ aus den Gleichungen (a) und (b) zu entnehmen sind, indem man in denselben $t_1, t_2 \dots$ für t' setzt. Da vorstehende Gleichung gültig seyn muß für jeden Werth von t , der größer ist als t_1 , so liefert sie folgende zwei Gleichungen:

$$c \sin 2\pi \frac{\gamma}{\delta} = \Sigma \Delta b \sin 2\pi \frac{\beta}{\delta},$$

$$c \cos 2\pi \frac{\gamma}{\delta} = \Sigma \Delta b \cos 2\pi \frac{\beta}{\delta},$$

und aus diesen folgt

$$c^2 = \Sigma \Delta b^2 + \Sigma \Delta b_n \Delta b_s \cos 2\pi \frac{\beta_n - \beta_s}{\delta},$$

wo das zweite Glied auf der rechten Seite die Summe der $r(r-1)$ Producte bedeutet, welche man erhält, wenn man jeden der r Werthe von Δb und dem zugehörigen β in der angezeigten Weise mit jedem der $r-1$ andern Werthe von Δb und dem zugehörigen β verbindet. Nimmt die Amplitude des Gleichgewichtsortes langsam und continuirlich zu oder ab, ist also die Zahl r unendlich groß, dagegen der Werth von Δa_n unendlich klein, so wird es zu jedem dieser Producte viele andere absolut gleichwerthige geben, in denen aber der Werth von $2\pi \frac{\beta_n - \beta_s}{\delta}$ ebenso oft negativ als positiv ist. Die Summe dieser Producte ist daher gleich Null zu setzen, und die vorstehende Gleichung reducirt sich auf

$$c^2 = \Sigma \Delta b^2.$$

Bezeichnet man mit $\Delta b'$ den mittleren Werth Δb , so hat man

$$c^2 = r \cdot \Delta b'^2,$$

also, da Δa_0 und mithin auch Δb und $\Delta b'$ unendlich klein, dagegen r unendlich groß ist,

$$c^2 = \infty \cdot \frac{1}{\infty^2} = \frac{1}{\infty}.$$

Wenn daher die Schwingungsreihe des Gleichgewichts-ortes mit der Amplitude Null beginnt und schließt, und wenn diese Amplitude nur langsam und stetig sich ändert, so bleibt während der ganzen Schwingungsreihe die Amplitude der unwesentlichen Schwingungen unendlich klein.

Nur wenn die beiden Schwingungsdauern τ und δ nur sehr wenig von einander verschieden sind, können, weil in diesem Falle einestheils nach (b) die Amplitude Δb sehr groß ist im Vergleich zu Δa_0 , andernteils nach (a) der Werth von β bei der Zunahme der Zeit t' nur langsam sich ändert, die sich auf einander lagernden unwesentlichen Schwingungen einen merklichen Amplitudenwerth erlangen und daher, weil die in ihnen enthaltene lebendige Kraft für immer der Lichtbewegung verloren geht, einen merklichen Lichtverlust erzeugen.

Durch diejenigen Lichtschwingungen, deren Dauer hinlänglich abweicht von den eigenthümlichen Schwingungsdauern eines Körpertheilchens, werden keine merklichen unwesentlichen Schwingungen des letztern erregt.

Es ist dieses Resultat, wie man sieht, einzig die Folge davon, daß bei einem linear polarisirten homogenen Lichtstrahl die Amplitude des Aethers nur langsam und stetig sich ändert und jede Schwingungsreihe mit Null beginnt und endet. Diese Eigenschaft polarisirter Strahlen ist daher von großer Wichtigkeit: denn ohne sie würde in Folge der dann auftretenden, das Licht absorbirenden unwesentlichen Schwingungen der Körpertheilchen *die Existenz transparenter Körper kaum als möglich erscheinen.*

Die Ursache dieser Eigenschaft sieht man übrigens leicht ein, wenn man auf die Entstehung des Lichtes zurück-

geht. Alles Licht, dies steht wohl unzweifelhaft fest, wird durch das Schwingen von Körpertheilchen erzeugt. Diese Schwingungen gehen nur sehr langsam an den Aether über, so daß jedes Körpertheilchen, ähnlich einer Glocke oder Saite, nach jedem empfangenen Impuls eine lange Reihe von Aetherwellen auszusenden vermag, bevor es wieder zur Ruhe kommt. Empfängt, ehe letzteres der Fall ist, das Körpertheilchen einen neuen Impuls, so tritt dessen Wirkung zu den noch vorhandenen Wirkungen der vorhergehenden Impulse hinzu, und man sieht daher ein, daß, wenn die Impulse sehr schnell auf einander folgen, jeder einzelne von ihnen die Amplitude und Phase der Schwingungen des Körpertheilchens nur sehr wenig verändern kann. Wenn daher bei sehr schneller Aufeinanderfolge der Impulse die Amplitude und Phase merkliche Aenderungen erleiden, so wird man diese als nahezu continuirlich ansehen können. Letzteres ist zwar nicht mehr der Fall, wenn die Impulse seltener sind; es giebt jedoch noch einen andern Umstand, der mit in Erwägung gezogen werden muß. Ein Lichtstrahl, und wäre derselbe noch so dünn, ist stets das Erzeugniß einer sehr großen Anzahl von Körpertheilen; das, was ein einzelnes dieser Theilchen zu demselben beiträgt, ist verschwindend klein, um so mehr die Wirkung eines einzelnen Impulses, den dasselbe empfängt. Nun ist es möglich, daß die Impulse, worin dieselben auch bestehen mögen, bald stärker, bald schwächer sind, und daß sie bald schneller, bald langsamer auf einander folgen. Auch können diejenigen Schwingungen, welche mehr oder weniger einander parallel sind, bei den verschiedenen den Strahl erzeugenden Körpertheilchen bald mehr in gleichem, bald mehr in ungleichem Sinne geschehen. Endlich kann dies Alles, oder das Eine oder Andere, bald mehr in der einen, bald mehr in der andern Richtung der Fall seyn. In Folge dessen wird die Ellipse, welche an einer bestimmten Stelle des Lichtstrahls von einem Aethertheilchen durchlaufen wird, und welche das Resultat der Schwingungen aller jener Körper-

theilchen ist, sich zwar ändern müssen, aber diese Aenderung wird nur eine langsame und continuirliche seyn können, was dann obige Eigenschaft des polarisirten Strahls zur Folge hat. Wenn, wie es vielleicht beim elektrischen Funken der Fall ist, die Körpertheilchen durch einen kräftigen Impuls urplötzlich in starke Schwingungen versetzt werden, so wird dies doch nie gleichzeitig geschehen; von denjenigen Körpertheilchen, welche Theil haben an der Erzeugung des Lichtstrahls, wird immer eines zuerst den Impuls empfangen, und die anderen werden allmählig nachfolgen. Die erwähnte Ellipse wird daher auch in diesem Falle, unendlich klein beginnend und endend, nur allmählig wachsen und wieder abnehmen können; wie es denn überhaupt wohl keine natürlichen Ursachen oder künstlichen Mittel geben wird, durch welche bewirkt werden könnte, daß die Aenderungen jener Ellipse sprungweise erfolgen.

§. 6.

Den Betrachtungen im vorigen Paragraphen zufolge können wir jetzt in den Schwingungsgleichungen eines Körpertheilchens das unwesentliche Glied fortlassen. Indem wir dann die Zeit t mit einem positiven Durchgange des momentanen Gleichgewichtsortes durch den Ruheort anfangen lassen, fällt auch die Constante α fort, so daß die Schwingungsgleichung des momentanen Gleichgewichtsortes folgende ist.

$$\xi_0 = a_0 \sin 2\pi \frac{t}{\tau}.$$

Die Verschiebung des Körpertheilchens in der Richtung der x wird dann ausgedrückt

wenn die Schwingungsdauer τ des Lichts von der eigenthümlichen Schwingungsdauer δ des Körpertheilchens verschieden ist,

durch die Gleichung

$$(5) \quad \xi = \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t}{\tau} - \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} \xi_0;$$

wenn dagegen beide Schwingungsdauern einander gleich sind,
durch die Gleichungen

$$(6) \quad \begin{cases} \xi = -a \cos 2\pi \frac{t}{\delta}, \\ \frac{da}{dt} = \frac{\pi}{\delta} a_0. \end{cases}$$

Wir wollen nun die durch diese Gleichungen dargestellten Schwingungen des Körpertheilchens näher ins Auge fassen und zugleich sehen, worin im Allgemeinen ihre Rückwirkung auf die Aetherschwingungen bestehen wird.

1. Die Gleichung (5) betreffend wollen wir zunächst bemerken, daß dieselbe sehr einfach auf directem Wege sich herleiten läßt. Soll nämlich das Körpertheilchen um seinen Ruheort mit der Schwingungsdauer τ oscilliren, so muß sich die beschleunigende Kraft X ausdrücken durch die Gleichung

$$X = -\frac{4\pi^2}{\tau^2} \xi;$$

nach (C) wird sie aber auch durch

$$X = -\frac{4\pi^2}{\delta^2} (\xi - \xi_0)$$

ausgedrückt, und daraus folgt sofort

$$\xi = \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} \xi_0.$$

Aus der Gleichung (5) ergibt sich nun Folgendes.

Die *Schwingungsdauer* des Körpertheilchens ist gleich der seines Gleichgewichtsortes, also auch gleich der des Aethers. Daraus folgt:

Durch das Licht werden stets nur solche Schwingungen der Körpertheilchen erregt, welche mit den Lichtschwingungen selbst isochron sind.

Hinsichtlich der *Phase* lassen sich zwei wesentlich verschiedene Fälle unterscheiden, je nachdem δ kleiner oder größer ist als τ . Im erstern Falle haben die Verschiebungen ξ und ξ_0 gleiche, im letztern entgegengesetzte Vorzeichen.

Wenn also die eigenthümliche Schwingungsdauer des Körpertheilchens kleiner ist als die Schwingungsdauer seines momentanen Gleichgewichtsortes, so bewegen sich beide, das Körpertheilchen und sein Gleichgewichtsort, stets in gleicher Richtung, ist dagegen jene gröfser als diese, so ist die Bewegung des einen stets der des andern entgegengesetzt.

Im letztern Falle befinden sich daher beide, das Körpertheilchen und sein momentaner Gleichgewichtsort, stets auf entgegengesetzten Seiten des Ruheortes, in diesem sich jedesmal belegend; im erstern dagegen sind sie stets auf derselben Seite, jedoch nie so, dafs sich das Körpertheilchen zwischen seinem momentanen Gleichgewichts- und seinem Ruheorte befindet, weil die Verschiebung ξ nie kleiner seyn kann als ξ_0 ; es zeigt dies auch die aus (5) leicht hervorgehende Gleichung

$$\frac{\delta^2}{\tau^2} = \frac{\xi - \xi_0}{\xi},$$

nach welcher ξ nicht kleiner als ξ_0 werden kann, ohne dafs eine der beiden Schwingungsdauern δ und τ imaginair wird.

Die *Amplitude* des Körpertheilchens betreffend sieht man, dafs die Gleichung (5) dieselbe als unendlich grofs ergiebt, wenn die beiden Schwingungsdauern δ und τ einander gleich sind, in welchem Falle jedoch die Gleichungen (6) zur Anwendung kommen. Entfernt sich δ von dem Werthe von τ , sey es durch Zu- oder durch Abnahme, so verkleinert sich die Amplitude, und zwar zuerst sehr schnell, dann immer langsamer. Ist dann δ unendlich klein oder unendlich grofs geworden, so ist die Amplitude des Körpertheilchens im erstern Falle gleich der seines momentanen Gleichgewichtsortes, im letztern gleich Null.

Wenn die eigenthümliche Schwingungsdauer des Körpertheilchens unendlich klein ist, so befindet sich dasselbe stets in seinem momentanen Gleichgewichtsorte;

ist sie unendlich groß, so verharrt das Körpertheilchen unbeweglich in seinem Ruheorte.

Es verdient nochmals hervorgehoben zu werden, daß die *wirkliche* Schwingungsdauer eines Körpertheilchens keineswegs immer mit seiner eigenthümlichen übereinstimmt, daß sie vielmehr in Folge von Oscillationen seines Gleichgewichtsortes jeden Werth haben kann, mag dieser noch so groß oder noch so klein seyn; *bewegen sich beide, das Körpertheilchen und sein Gleichgewichtsort, stets in gleicher Richtung, so ist die wirkliche Schwingungsdauer größer als die eigenthümliche, bewegen sie sich einander entgegengesetzt, so ist sie kleiner.*

Was nun die *Rückwirkung* der durch die Gleichung (5) dargestellten Schwingungen des Körpertheilchens auf die Aetherschwingungen anbetrifft, so muß man beachten, daß die Amplitude desselben stets proportional ist der seines Gleichgewichtsortes, mithin auch der des Aethers. Wenn daher die Amplitude des Aethers am Ende einer Schwingungsreihe gleich Null geworden ist, so ist es auch die des Körpertheilchens. Letzteres behält also von der in seinen Schwingungen enthalten gewesenen lebendigen Kraft Nichts zurück, und dieselbe muß daher der Lichtbewegung vollständig verblieben seyn, d. h. *eine Absorption des Lichts findet durch diese Schwingungen nicht statt.* Dagegen leuchtet ein, daß dieselben, da durch sie die Masse des Schwingenden vermehrt ist, einen Einfluß auf die *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* des Lichts haben werden, d. h.

die durch die Gleichung (5) dargestellten Schwingungen der Körpertheilchen sind als die Ursache der Refraction anzusehen.

Es wird Diefs indess weiter unten der Gegenstand besonderer und eingehender Betrachtungen seyn.

2. Indem wir zu den Gleichungen (6) übergehen, treten uns in denselben zwei die Phase und die Amplitude des Körpertheilchens betreffende Eigenthümlichkeiten entgegen. Die erste dieser Gleichungen enthält nämlich statt

des in der Schwingungsgleichung des Gleichgewichtsortes vorkommenden Ausdrucks

$$\sin 2\pi \frac{t}{\delta}$$

den Ausdruck

$$- \cos 2\pi \frac{t}{\delta},$$

oder, wie man ihn auch schreiben kann,

$$\sin 2\pi \frac{t - \frac{1}{2}\delta}{\delta}.$$

Man ersieht daraus,

dass die Schwingungen des Körpertheilchens gegen die seines Gleichgewichtsortes, also auch gegen die des Aethers, um den vierten Theil einer Schwingungsdauer verspätet sind.

Die zweite Eigenthümlichkeit zeigt uns die zweite der Gleichungen (6). Man ersieht nämlich aus derselben unmittelbar,

dass die Amplitude des Körpertheilchens während jeder Schwingung um die mit der Zahl π multiplicirte Amplitude seines Gleichgewichtsortes zunimmt.

Hieraus erkennt man auch sofort, worin die Rückwirkung dieser Schwingungen auf die des Aethers bestehen wird. Dem Gesagten zufolge wächst nämlich die Amplitude des Körpertheilchens so lange, als die Schwingungsreihe des Aethers dauert, und wenn letztere aufhört, hat jene gerade ihr Maximum erreicht. Die in der Schwingungsbewegung des Körpertheilchens enthaltene lebendige Kraft geht daher vollständig der Lichtbewegung verloren, d. h.

die durch die Gleichungen (6) dargestellten Schwingungen der Körpertheilchen sind die Ursache der Absorption.

Die Absorption besteht in einer Verkleinerung der Schwingungsamplitude des Aethers. Diese Verkleinerung setzt voraus,

dass die Schwingungen des Körpertheilchens wiederum Oscillationen des Aethers erregen, welche gegen die des

erstern um den vierten Theil einer Schwingungsdauer verspätet sind.

Diese erregten Aetherschwingungen sind nämlich dann den erregenden gerade entgegengesetzt, und die algebraische Summe aus beiden hat daher den Erfolg einer Verkleinerung der erregenden Aetherschwingungen.

Hat die Schwingungsreihe im erregenden Lichte ihr Ende erreicht, d. h. ist ihre Amplitude bis zu Null herabgesunken, so werden die Oscillationen der Körpertheilchen, deren Amplitude jetzt gerade im Maximum sich befindet, noch fort dauern, und sie werden auch noch fortfahren, um eine Viertel-Undulation verspätete Aetherschwingungen zu erregen. Da diese aber nicht mehr in entgegengesetzte Aetherschwingungen aufgehen, weil solche nicht mehr vorhanden sind, so werden sie im Allgemeinen als *ausgestrahltes Licht* zum Vorschein kommen; es ist dies das *Fluorescenzlicht*, welches demnach jedesmal erst dann beginnt, wenn eine Schwingungsreihe im erregenden Lichte ihr Ende erreicht hat, was allerdings Millionen Male in der Secunde vorkommen mag.

Der Umstand, daß die absorbirende und die ausstrahlende Thätigkeit der Körpertheilchen sich nur dadurch von einander unterscheiden, daß die von denselben erregten Aetherschwingungen im erstern Falle die Schwächung des der Absorption ausgesetzten Lichtes bewirken, im letztern aber als ausgestrahltes Licht zur Erscheinung kommen, kann als eine Begründung des von verschiedenen Physikern aufgestellten Satzes angesehen werden, daß das Absorptions- und das Ausstrahlungsvermögen eines Körpers bei allen Schwingungsdauern einander proportional seyen.

Um die Einfachheit der vorstehend entwickelten Vorstellung von der absorbirenden und emittirenden Thätigkeit hier nicht zu stören, wollen wir die Besprechung einiger dieselbe betreffenden Besonderheiten auf einen späteren Paragraphen verschieben.

3. Die durch die Gleichungen (5) und (6) dargestell-

ten Bewegungen eines Körpertheilchens sind so wesentlich verschieden, daß eine Betrachtung über den *Uebergangsfall*, wo die Differenz zwischen der eigenthümlichen Schwingungsdauer des Körpertheilchens und der Oscillationsdauer des Lichts sehr klein ist, nicht als überflüssig erscheinen dürfte. Zu diesem Zwecke haben wir von der allgemeinen Gleichung (3) auszugehen, nämlich

$$\xi = \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t}{\tau} + b \sin 2\pi \frac{t + \beta}{\delta}.$$

Bestimmt man das letzte Glied auf der rechten Seite durch den Anfangszustand, der bei $t = 0$ stattfindet, indem man die Anfangsverschiebung mit ξ' , die Anfangsgeschwindigkeit mit $\frac{d\xi'}{dt}$ bezeichnet, und setzt man den so erhaltenen Werth des erwähnten Gliedes in die vorstehende Gleichung, so erhält man

$$\begin{aligned} \xi = & \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t}{\tau} - \frac{\delta}{\tau} \cdot \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t}{\delta} \\ & + \frac{\delta}{2\pi} \cdot \frac{d\xi'}{dt} \sin 2\pi \frac{t}{\delta} + \xi' \cos 2\pi \frac{t}{\delta}. \end{aligned}$$

Dieser Gleichung muß nun eine Form gegeben werden, bei welcher die Verschiebung ξ nicht unendlich groß wird, wenn man $\tau = \delta$ setzt; wir schreiben sie daher wie folgt;

$$\begin{aligned} \xi = & -2 \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta} \cos 2\pi \frac{t(\tau + \delta)}{2\tau\delta} \\ & + \frac{\tau}{\tau + \delta} a_0 \sin 2\pi \frac{t}{\delta} + \frac{\delta}{2\pi} \cdot \frac{d\xi'}{dt} \sin 2\pi \frac{t}{\delta} + \xi' \cos 2\pi \frac{t}{\delta}. \end{aligned}$$

Hier stellt das erste Glied auf der rechten Seite Schwingungen dar mit der Oscillationsdauer $\frac{2\tau\delta}{\tau + \delta}$, und mit der veränderlichen Amplitude

$$2 \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta}.$$

Die Periode dieser Veränderung beträgt $\frac{\tau\delta}{\tau - \delta}$, innerhalb welcher die Amplitude von 0 bis $2 \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2}$ steigt und dann wieder bis 0 herabsinkt. Wenn also τ und δ nur sehr

wenig verschieden sind, so ist diese Amplitude des Körpertheilchens zur Zeit ihres Maximums sehr groß in Vergleich zu der des Gleichgewichtsortes, während die Amplitude des zweiten Gliedes nur ungefähr die Hälfte von der des Gleichgewichtsortes beträgt. Die beiden letzten Glieder betreffend läßt sich Folgendes bemerken. Wenn die durch die vorstehende Gleichung dargestellten Schwingungen zur Zeit $t=0$ ihre Entstehung haben, so kann man annehmen, daß das Körpertheilchen vorher in Ruhe war; denn hatte dasselbe bereits eine Bewegung, so gehört dieselbe anderen Schwingungen an, welche man bei ihrer Fortdauer gesondert von den neu entstandenen und als sich auf diese auflagernd betrachten kann. Demnach kann man sowohl die Anfangsverschiebung ξ' als auch die Anfangsgeschwindigkeit $\frac{d\xi'}{dt}$ als gleich Null ansehen. Jedenfalls darf man die durch die letzten drei Glieder der Gleichung dargestellten Schwingungen für so klein halten, daß sie nur um die Zeit des Minimums der Amplitude des ersten Gliedes bemerkbar sind. Läßt man sie daher fort, so hat man

$$(7) \quad \xi = -2 \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta} \cos 2\pi \frac{t(\tau + \delta)}{2\tau\delta}.$$

Läßt man die Differenz $(\tau - \delta)$ unendlich klein werden, so wird die Periode $\frac{\tau\delta}{\tau - \delta}$ der Amplitudenänderung unendlich groß, und die Amplitude wächst fortwährend, ohne jemals in endlicher Zeit unendlich groß zu werden. Verwandelt man den Ausdruck

$$\sin 2\pi \frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta}$$

nach der bekannten Formel

$$\sin x = x - \frac{x^3}{6} + \dots$$

in eine Reihe, so besteht der Ausdruck für die Amplitude aus einer Anzahl von Gliedern; setzt man dann $\tau = \delta$, so verschwinden alle Glieder bis auf das erste, und es entsteht

$$\xi = -\pi \frac{t}{\delta} a_0 \cos 2\pi \frac{t}{\delta},$$

wofür man wegen der Veränderlichkeit der Amplitude a_0 die Gleichungen (6) setzen muß. — Somit sind wir auf directem Wege von der Schwingungsweise, welche das Körpertheilchen befolgt, wenn die Schwingungsdauern τ und δ verschieden sind, zu der ganz anderen Schwingungsweise gelangt, welche stattfindet, wenn beide Schwingungsdauern einander gleich sind.

Um die durch die Gleichung (7) dargestellten Schwingungen genauer zu betrachten, kann man ihr folgende Gestalt geben:

$$\xi = 2 \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta} \cdot \sin 2\pi \left[\frac{t}{\tau} + \frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta} - \frac{1}{4} \right].$$

In dieser Form stellt sie Schwingungen dar mit der Oscillationsdauer τ , aber mit dem veränderlichen Phasenunterschiede $\left[\frac{t(\tau - \delta)}{2\tau\delta} - \frac{1}{4} \right]$, während der Ausdruck für die Amplitude derselbe geblieben ist.

Es sey zuerst τ größer als δ . Wie man sieht, ist dann zu Anfange der Zeit t die Amplitude gleich Null, und der Phasenunterschied $= -\frac{1}{4}$, d. h. die Schwingungen

des Körpertheilchens sind gegen die des Aethers um $\frac{1}{4}$ Undulation zurück. Darauf nimmt der absolute Werth des Phasenunterschiedes ab und die Amplitude zu. Bei

$t = \frac{1}{2} \frac{\tau\delta}{\tau - \delta}$ hat die letztere ihr Maximum $2 \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0$ erreicht, und der Phasenunterschied ist gleich Null, d. h. Aether und Körpertheilchen bewegen sich jetzt in gleicher Richtung. Hierauf wird der Phasenunterschied positiv und wächst, während die Amplitude wieder abnimmt.

Bei $t = \frac{\tau\delta}{\tau - \delta}$ ist diese gleich Null und jener $= +\frac{1}{4}$, d. h. die Schwingungen des Körpertheilchens sind denen des Aethers um $\frac{1}{4}$ Undulation voraus. Nimmt die Zeit t noch weiter zu, so ändert die Amplitude das Zeichen; um dieselbe noch ferner als positiv zu betrachten, muß man die Phase um eine halbe Undulation ändern. Dadurch wird

der Phasenunterschied $= \frac{1}{4} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{4}$, und man sieht also, daß derselbe plötzlich von $+\frac{1}{4}$ auf $-\frac{1}{4}$ zurückspringt, und daß daher nun derselbe Gang auf's Neue beginnt. Die Dauer der Periode sowohl der Phasen-, als auch der Amplitudenänderung ist also gleich $\frac{\tau \delta}{\tau - \delta}$, und der Phasenunterschied durchläuft während derselben die Werthe

$$-\frac{1}{4} \dots 0 \dots +\frac{1}{4}.$$

Ist τ kleiner als δ , so geht die Gleichung in Folgende über:

$$\xi = 2 \frac{\tau^2}{\delta^2 - \tau^2} a_0 \sin 2\pi \frac{t(\delta - \tau)}{2\tau\delta} \cdot \sin 2\pi \left[\frac{t}{\tau} - \frac{t(\delta - \tau)}{2\tau\delta} - \frac{1}{4} \right].$$

Aus dieser Gleichung ist leicht zu ersehen, daß der Gang der Erscheinung dem vorigen ganz ähnlich ist und sich von demselben nur dadurch unterscheidet, daß jetzt während der Periode, deren Dauer $\frac{\tau \delta}{\delta - \tau}$ beträgt, der Phasenunterschied die Werthe

$$-\frac{1}{4} \dots \frac{1}{2} \dots +\frac{1}{4}$$

durchläuft, und daß daher, wenn die Periode zur Hälfte abgelaufen ist und die Amplitude ihren Maximalwerth $2 \frac{\tau^2}{\delta^2 - \tau^2} a_0$ erreicht hat, Aether und Körpertheilchen nicht in gleicher Richtung, sondern einander entgegengesetzt sich bewegen.

Was nun die Rückwirkung dieser Schwingungen auf die des Aethers anbetrifft, so finden sich hier die Wirkungen der durch die Gleichungen (5) und (6) dargestellten Schwingungen vereinigt. Man sieht leicht ein, daß um die Mitte der Periode der Einfluß auf die Wellenlänge vorherrschend ist, daß derselbe aber desto mehr zurücktritt und dafür der Einfluß auf die Amplitude des Aethers sich geltend macht, je mehr man sich dem Anfange oder Ende der Periode nähert. In der ersten Hälfte der Periode geht ein Theil der lebendigen Kraft vom Aether an das Körpertheilchen über: derselbe wird aber in der zweiten Hälfte an den Aether vollständig zurückgegeben,

vorausgesetzt, daß die Amplitude des Aethers im ankommenden Lichtstrahl während der Dauer der Periode sich nicht geändert hat. Ist aber letzteres der Fall — und nach dem vorigen Paragraphen ist es dies allerdings, und zwar um so mehr, je länger die Periode dauert, d. h. je kleiner die Differenz zwischen τ und δ ist —, so geht dem Aether ein Theil der lebendigen Kraft für immer verloren, d. h. es findet eine wirkliche Absorption des Lichtes statt, welche demnach um so größer ist, je mehr die Differenz zwischen den Schwingungsdauern τ und δ der Null sich nähert.

Diese *Nebenabsorption*, welche stattfindet bei nicht vollkommener Uebereinstimmung der Schwingungsdauern τ und δ , hat also ihren Grund in der Veränderlichkeit der Ellipse, welche die Aethertheilchen in einem natürlichen Lichtstrahl durchlaufen.

§. 7.

Es dürfte nicht ohne Interesse seyn, zu sehen, wie man die im vorigen Paragraphen entwickelten Sätze experimentell veranschaulichen kann. Als das geeignetste Mittel hierzu erscheint das Fadenpendel. Der Gleichgewichtsort der Pendelkugel befindet sich stets vertical unter dem Aufhängepunkte; um also zu bewirken, daß der erstere in horizontalen Schwingungen sich befinde, braucht man nur den letztern in eben solche Schwingungen zu versetzen. Hierzu dürfte am besten ein Pendel mit unbiegsamer Stange dienen, so daß dieses die Rolle des Aethers zu spielen hat, während die Kugeln der Fadenpendel die Körpertheilchen vorstellen. Der Schwierigkeit, mittels eines Pendels einen Punkt in horizontaler gerader Linie zu bewegen, kann man dadurch ausweichen, daß man hier, wo es nur auf den allgemeinen Charakter der Erscheinung ankommt, mit folgender sehr einfacher Einrichtung sich begnügt.

Die Stange des Aetherpendels ist an ihrem obern Ende unter rechtem Winkel fest verbunden mit einer hinreichend

langen horizontalen Stange, welche an jedem Ende mittels einer Schneide oder verticalen Spitze auf einer Unterlage ruht, so daß die Verbindungslinie der beiden Schneiden die Drehaxe des Aetherpendels ausmacht. An der horizontalen Stange befinden sich mehrere der Pendelstange parallele Arme von verschiedener Länge, an deren unterem Ende die Vorrichtung zum Aufhängen der Fadenpendel sich befindet. Wenn also das Aetherpendel in seiner Ruhelage ist, so befinden sich die Aufhängepunkte der Fadenpendel vertical unter der Drehaxe, und wenn jenes Schwingungen macht, so bewegen sich diese in einem Bogen, welcher, wenn er nur kurz ist, als gerade horizontale Linie angesehen werden kann. Um Aenderungen der Schwingungsebene zu verhindern, kann man jeden Pendelfaden, auf welchem die Pendelkugel etwa mittels eines Häkchens gleitet, mit seinen Enden an zwei benachbarte Aufhängepunkte befestigen, welche von der Drehaxe gleichweit entfernt sind. Es ist nothwendig, den Apparat so einzurichten, daß man mehrere Fadenpendel gleichzeitig aufhängen kann, und daß die Möglichkeit gewährt ist, die Armlänge, d. h. die Entfernung der Aufhängepunkte von der Drehaxe, je nach Bedürfnis, bald größer, bald kleiner zu nehmen.

Es sey l die Länge des Aetherpendels, φ seine Neigung zu der durch die Drehaxe gehenden Verticalebene, ξ' der Abstand seines Schwingungspunctes von dieser Ebene, τ seine Schwingungsdauer, g die Schwerkraft, so ist die auf den Schwingungspunct wirkende beschleunigende Kraft

$$\frac{\partial^2(l\varphi)}{\partial t^2} = -g \sin \varphi = -\frac{g}{l} \xi',$$

also deren zur erwähnten Ebene senkrechte Componente

$$\frac{\partial^2 \xi'}{\partial t^2} = -\frac{g}{l} \xi' \cos \varphi.$$

Wird die Amplitude a' (das Maximum von ξ') so klein genommen, daß man immer $\cos \varphi = 1$ setzen kann, und schreibt man $\frac{4\pi^2}{\tau^2}$ für $\frac{g}{l}$, so entsteht

$$\frac{d^2 \xi'}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{\tau^2} \xi',$$

und dies giebt

$$\xi' = a' \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau},$$

wo α eine Constante ist. Was hier ξ' und a' ist, werde in Bezug auf den Aufhängepunkt des Fadenpendels mit ξ_0 und a_0 bezeichnet, dann wird also die Bewegung dieses Aufhängepunktes in Folge der Schwingungen des Aetherpendels dargestellt durch die Gleichung

$$\xi_0 = a_0 \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau}.$$

Es sey endlich δ die eigenthümliche Schwingungsdauer des Fadenpendels und ξ der Abstand seiner Kugel von der durch die Drehaxe gehenden Verticalebene, so hat man, wenn man wieder den Cosinus des Ausschlagswinkels gleich Eins setzt,

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{\delta^2} (\xi - \xi_0) = -\frac{4\pi^2}{\delta^2} (\xi - a_0 \sin 2\pi \frac{t+\alpha}{\tau}).$$

Dies ist aber eben die Differentialgleichung (2), woraus folgt, daß unser Apparat innerhalb der Gränzen, in denen man den Cosinus des Ausschlagswinkels gleich Eins setzen darf, recht wohl geeignet ist, die aus der Gleichung (2) hergeleiteten Bewegungsgesetze darzustellen. Die Kleinheit der Ausschläge ist selbstverständlich besonders da eine nothwendige Bedingung, wo es auf die Gleichheit von δ und τ ankommt.

Das Fadenpendel mit beweglichem Aufhängepunkte kann man bezeichnen als *Absorptionspendel*, wenn seine Schwingungsdauer mit der des Aetherpendels vollkommen übereinstimmt, als *Refractionspendel*, wenn beide Schwingungsdauern beträchtlich, und als *Uebergangspendel*, wenn sie nur wenig von einander abweichen. Bei jedem dieser Pendel kann man seine Aufmerksamkeit auf Zweierlei richten, nämlich zuerst auf die Art seiner Bewegung, wie sie durch die Schwingungen des Aetherpendels hervorgerufen wird, und sodann auf die Rückwirkung jener auf

diese. Im erstern Falle ist es vortheilhaft, die Pendelkugel so klein zu nehmen, daß die Rückwirkung auf die Amplitude oder Schwingungsdauer des Aetherpendels unmerklich ist, im letztern, wo diese Rückwirkung besonders hervortreten soll, ist eine größere Kugel nothwendig, dessen Gewicht dem des Aetherpendels angenähert gleich ist oder dasselbe übersteigt.

1. *Das Absorptionspendel.* Bei Anwendung einer *sehr kleinen Kugel* zeigt der Apparat, daß, wenn man das Aetherpendel in Schwingungen setzt, die dann entstehenden Schwingungen des Fadenpendels gegen jene um $\frac{1}{4}$ Undulation verspätet sind, so wie daß deren Amplitude fortwährend zunimmt, und zwar während jeder Schwingung um πa_0 , unter a_0 die Amplitude des Aufhängepunktes verstanden.

Wendet man eine *große Kugel* an, so sieht man, daß, während die Amplitude des Absorptionspendels wächst, die des Aetherpendels abnimmt, bis diese gleich Null geworden ist und jene ihr Maximum erreicht hat; ferner sieht man, daß darauf das Aetherpendel wieder anfängt zu schwingen (das Fluorescenzlicht darstellend), während die Schwingungen des Absorptionspendels wieder abnehmen, daß aber jetzt die Schwingungen des Aetherpendels gegen die des andern nicht mehr um $\frac{1}{4}$ Undulation voraus sind, sondern um ebenso viel zurück. — Es muß hier auf einen Unterschied aufmerksam gemacht werden, der zwischen den Erscheinungen, welche dieser Apparat darbietet, und denen des Lichts stattfindet. Beim Apparat geht die ganze lebendige Kraft des Aetherpendels nach und nach an ein und dasselbe Absorptionspendel über; eine Aetherwelle dagegen giebt, weil sie im Raume fortschreitet, ihre lebendige Kraft nach und nach an immer neue absorbirende Körpertheilchen ab, und jedes der letzteren erhält von jeder neu ankommenden Welle einen neuen Antheil, so lange die Schwingungsreihe dauert. Ferner, wenn die Schwingungsreihe zu Ende ist und nun das Körpertheilchen den Aether in Bewegung setzt, so

erzeugt jede seiner Schwingungen eine neue Aetherwelle, welche gleich ihren Vorgängern und Nachfolgern im Raume sich ausbreitet und in der Ferne verliert; bei unserem Apparat dagegen geht die ganze Bewegung des Absorptionspendels nach und nach an ein und dasselbe Aetherpendel über und häuft sich hier an, um dann von Neuem an das Absorptionspendel überzugehen. So wechseln beide Pendel in ihrer Bewegung mit einander ab; wenn das eine zur momentanen Ruhe (oder zum Minimum seiner Bewegung) kommt, befindet sich jedesmal das andere im Maximum seiner Schwingungen, und dieses Spiel setzt sich so lange fort, als die Bewegung überhaupt dauert (oder bis sie sehr klein geworden ist). Jedesmal, wenn das Absorptionspendel Bewegung von dem Aetherpendel empfängt, stellt es die Rolle der absorbirenden, jedesmal, wenn es solche an das Aetherpendel abgibt, die Rolle der emittirenden Thätigkeit des Körpertheilchens dar. Um die Dauer der Periode zu bestimmen, während welcher das Eine oder das Andere geschieht, seyen a' , a , a_0 die Amplituden des Aetherpendels, des Absorptionspendels und des Aufhängepunktes des letzteren, l' und l_0 die Pendellänge und die Armlänge des Aufhängepunktes; dann ist nach dem Bisherigen

$$\frac{\partial a}{\partial t} \tau = \pi a_0 = \pi \frac{l_0}{l'} a',$$

* und wegen des Principes der Erhaltung der Kraft

$$ma^2 + m' a'^2 = k,$$

wo k eine Constante, m die Kugelmasse des Absorptionspendels, und m' eine von der Masse des Aetherpendels und ihrer Vertheilung abhängige GröÙe ist. Aus der letztern Gleichung folgt

$$a' = \sqrt{\frac{k - ma^2}{m'}},$$

und hiermit giebt die erstere

$$\frac{\partial a}{\sqrt{k - ma^2}} = \pi \frac{l_0}{l' \sqrt{m'}} \frac{\partial t}{\tau}.$$

Die Integration liefert

$$\frac{t}{\tau} = \frac{t'}{\pi l_0} \sqrt{\frac{m'}{m}} \cdot \text{arc. tg } \sqrt{\frac{m a^2}{m' a'^2}} + \text{Const.}$$

Das Integral ist für die Dauer der Absorption von $a=0$ bis $a'=0$, und für die Dauer der Emission von $a'=0$ bis $a=0$ zu nehmen. Bezeichnet man also mit T die erstere, mit T' die letztere Dauer, so hat man schliesslich

$$\frac{T}{\tau} = \frac{T'}{\tau} = \frac{1}{2} \frac{t'}{l_0} \sqrt{\frac{m'}{m}}.$$

An dem Apparat wird man demnach noch zeigen können, daß die beiden Zeiten, in welchen die Bewegung von dem Aether- auf das Absorptionspendel und dann von dem letztern wieder auf das erstere übergeht, einander gleich sind (die Gleichheit des Absorptions- und Emissionsvermögens darstellend); daß diese Zeiten unabhängig sind von den Maximal-Amplituden der Pendel (darstellend die Unabhängigkeit des Absorptionsvermögens von der Intensität des Lichts), und daß sie umgekehrt proportional sind einestheils der Armlänge, andernteils der Quadratwurzel aus dem Kugelgewicht des Absorptionspendels.

Man darf bei den Versuchen nicht übersehen, daß in den nicht zu vermeidenden unwesentlichen Schwingungen, in dem Umstande, daß die Bahnen der Aufhängepunkte Bogen sind statt horizontale Linien, in der Veränderlichkeit der Schwingungsdauer des Aetherpendels, wenn das Fadenpendel mit demselben gleichgerichtet oder entgegengesetzt schwingt oder in Ruhe ist, in der Reibung und dem Luftwiderstande, sowie in sonstigen Unvollkommenheiten des Apparates Ursachen genug gegeben sind, welche in den Erscheinungen, welche der Apparat darbieten soll, Störungen bewirken. So sieht man gewöhnlich, daß das Absorptionspendel, wenn es zur momentanen Ruhe kommen sollte, statt dessen kleine mit dem Aetherpendel gleichgerichtete Schwingungen macht, daß diese Schwingungen nach jeder Periode größer erscheinen, daß dann auch das Aetherpendel nicht mehr ganz zur Ruhe

kommt, und daß schliesslich, wenn die Gesamtbewegung schon sehr geschwächt ist, die Schwingungen beider Pendel fortwährend gleichgerichtet sind. Abgesehen von solchen Störungen der Erscheinungen, die auch bei den folgenden Versuchen auftreten, wird der Apparat recht wohl geeignet seyn, seinen Zweck zu erfüllen.

2. *Das Refractionspendel.* Zunächst muß bemerkt werden, daß dieser Name ein sehr uneigentlicher ist. Beim Licht wird die Refraction dadurch erzeugt, daß die Körpertheilchen, deren eigenthümliche Schwingungsdauer nicht mit der Oscillationsdauer des Aethers übereinstimmt, durch ihre Mitschwingungen eine Aenderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit oder, was hier dasselbe ist, der Wellenlänge bewirken, während die schon bei der Entstehung der Wellen gegebene Schwingungsdauer nicht geändert werden kann. Bei unserm Apparat dagegen, wo von einer Fortpflanzung der Schwingungen des Aetherpendels nicht die Rede seyn kann, wird durch die Mitschwingungen des Refractionspendels statt der Wellenlänge die Schwingungsdauer geändert und diese Aenderung der Schwingungsdauer repräsentirt also die Aenderung der Wellenlänge beim Licht, und damit auch die Refraction.

Bei Anwendung *sehr kleiner Kugeln* kann man sogleich zwei Refractionspendel aufhängen, von denen das eine für sich allein eine beträchtlich kürzere, das andere eine beträchtlich längere Schwingungsdauer hat, als das Aetherpendel. Setzt man dann das Aetherpendel in Schwingungen, so sieht man, daß die Bewegungen der Refractionspendel sehr unregelmäßig sind. Es rührt dies daher, daß sich mit den wesentlichen Schwingungen noch die unwesentlichen mischen. Um die letzteren nicht zur Existenz kommen zu lassen, muß die Schwingungsamplitude des Aetherpendels, mit Null anfangend, sehr langsam und stetig wachsen und ebenso wieder abnehmen. Als Mittel hierzu bietet sich in vortrefflicher Weise das Absorptionspendel dar. Wie wir gesehen haben, geht die Schwingungsbe-

wegung eines solchen allmählig an das Aetherpendel über und ebenso allmählig an das Absorptionspendel zurück, und Beides geschieht um so langsamer, je kleiner die Armlänge des letztern ist. Die so erzeugten Schwingungen des Aetherpendels sind ganz ähnlich einer Schwingungsreihe, die ein durch Zerlegung geradlinig schwingendes Aethertheilchen ausführt, nur jedenfalls viel regelmäßiger. Fügt man also zu den beiden Refractions- noch ein Absorptionspendel mit sehr kleiner Armlänge, und setzt man dann das letztere in Bewegung, so sieht man, daß die erstere jetzt in der That nur oder fast nur die wesentlichen Schwingungen machen, daß diese mit den Schwingungen des Aetherpendels gleichdauerig sind, und daß sie mit den letztern gleichzeitig von Null bis zum Maximum wachsen und dann bis Null wieder abnehmen. Ferner beobachtet man, daß die Kugel des kürzeren Refractionspendels mit dem Aetherpendel stets gleichgerichtet schwingt, und zwar mit der Amplitude $\frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0$, daß dagegen die Schwingungen, welche die Kugel des längern macht, denen des Aetherpendels entgegengesetzt sind und die Amplitude $\frac{\tau^2}{\delta^2 - \tau^2} a_0$ haben. Diese letztern Beobachtungen lassen sich auch am Apparate leicht erklären. Denkt man sich nämlich durch die Kugel des ruhenden Refractionspendels eine verticale Linie und in derselben oberhalb der Kugel einen Punct, der von der letztern um die Länge l eines mit dem Aetherpendel isochron schwingenden Fadenpendels entfernt ist, so muß dieser Punct, da das Refractionspendel mit dem Aetherpendel eben isochron schwingen soll, fest seyn, d. h. der Pendelfaden (oder die Ebene der beiden Fäden des Pendels) muß stets durch diesen Punct gehen oder nach demselben gerichtet seyn. Da nun bei dem längeren Refractionspendel dieser Punct unterhalb des Aufhängepunctes (oder der beiden Aufhängepuncte) liegt, so müssen Kugel und Aufhängepunct sich stets in entgegengesetzter Richtung bewegen; und da die Amplituden Beider sich verhalten, wie ihre Entfernungen

vom festen Punkte, so hat man, wenn l die Länge des Refractionspendels, a die Amplitude seiner Kugel bedeuten,

$$a : a_0 = l' : l - l',$$

also

$$a = \frac{l'}{l - l'} a_0 = \frac{\tau^2}{\delta^2 - \tau^2} a_0.$$

Bei dem kürzern Refractionspendel liegt der feste Punkt oberhalb des Aufhängepunktes, dieser und die Kugel bewegen sich daher stets in gleicher Richtung, und man findet auf dieselbe Weise

$$a = \frac{l'}{l' - l} a_0 = \frac{\tau^2}{\tau^2 - \delta^2} a_0.$$

Dafs das Refractionspendel mit *grofser Kugel* einen Einflufs auf die Schwingungsdauer des Aetherpendels haben mufs, sieht man ebenfalls leicht ein. Die Spannung des Pendelfadens strebt nämlich den Aufhängepunkt um die Drehaxe zu bewegen, wodurch die das Aetherpendel nach seiner Ruhelage treibende Kraft vermehrt oder vermindert wird. Im erstern Falle wird die Schwingungsdauer verkleinert (eine Vergrößerung der Wellenlänge des Lichts darstellend), im letztern vergrößert (entsprechend einer Verkleinerung der Wellenlänge). Hiernach sieht man leicht, dafs bei unserm Apparate eine Verlängerung der Schwingungsdauer nur stattfindet, wenn der vorhin erwähnte feste Punkt zwischen dem Aufhängepunkte und der Drehaxe liegt; liegt derselbe unterhalb des Aufhängepunktes oder oberhalb der Drehaxe, so wird die Schwingungsdauer verringert. Wäre der Apparat von der Beschaffenheit, dafs der Aufhängepunkt in gerader horizontaler Linie sich bewegte, so würde der Sinn der Wirkung auf die Schwingungsdauer blofs davon abhängen, ob der feste Punkt unter- oder oberhalb des Aufhängepunktes läge, d. h. ob δ gröfser oder kleiner wäre als τ . Um nun die Aenderung der Schwingungsdauer an dem Apparat sichtbar zu machen, kann man die regelmäfsigen Schwingungen eines Refractionspendels mit schwerer Kugel entbehren, bei denen die unwesentlichen Schwingungen sich schwer ver-

meiden lassen. Man kann statt dessen ein Fadenpendel mit schwerer oder sehr schwerer Kugel und von ungefähr gleicher Schwingungsdauer mit der des Aetherpendels an einen der längern Arme hängen, dasselbe dann zugleich mit dem Aetherpendel aus der verticalen Lage entfernen, sey es in gleichem oder ungleichem Sinne, und dann beide freilassen. Man beobachtet dann Folgendes: Bewegen sich zu einer Zeit beide Pendel in gleichem Sinne, so kann der Ausschlagswinkel des Fadenpendels größer oder kleiner seyn, als der des Aetherpendels; im ersten Falle ist die Schwingungsdauer des letztern Pendels vergrößert, im letzten verkleinert. Bewegen sich aber beide Pendel in entgegengesetzter Richtung, so ist die Schwingungsdauer stets verkleinert.

3. *Das Uebergangspendel.* Bei Anwendung einer *sehr kleinen Kugel* kann man beobachten, daß die Schwingungen des Fadenpendels zuerst sehr klein und um $\frac{1}{4}$ Undulation verspätet sind, daß die Amplitude wächst, während die Verspätung ab- oder zunimmt, je nachdem δ kleiner oder größer ist als τ , daß die Schwingungen ihr Maximum erreicht haben, wenn sie mit denen des Aetherpendels gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind, daß sie dann wieder abnehmen und endlich verschwinden, wenn sie den Schwingungen des Aetherpendels um $\frac{1}{4}$ Undulation voraus sind, und daß nun dasselbe Spiel von Neuem beginnt.

Mit *schwerer Kugel* bietet das Uebergangspendel Erscheinungen dar, deren Gang wegen der Aenderungen der Schwingungsdauer des Aetherpendels oft sehr complicirt ist. Wir können hier auf deren Betrachtung verzichten.

Von mehr Interesse für unsern Gegenstand ist der experimentelle Nachweis, daß eine Lichtabsorption auch dann schon stattfindet, wenn die Schwingungsdauer des Aethers um ein Geringes größer oder kleiner ist, als die eigenthümliche des Körpertheilchens. Zu diesem Zwecke muß man die Natur wieder dadurch nachahmen, daß man mittels eines Absorptionspendels eine Schwingungsreihe

des A
Amp
Schw
del
her
diese
wegu
gang
beträ
weil
bleib
pend
Hälf
nicht
Been
befin
und
eben
Schw
N

III.

M
aus
deu

chu
bis

des Aetherpendels mit continuirlich zu- und abnehmender Amplitude erzeugt. Dazu ist aber erforderlich, daß die Schwingungsdauer des letztern durch das Uebergangspendel keine merklichen Aenderungen erfahre, und daß daher dessen *Kugel sehr klein* sey. Setzt man, nachdem diese Bedingung erfüllt ist, das Absorptionspendel in Bewegung, so sieht man, daß die Schwingungen des Uebergangspendels weder denen eines Refractionspendels mit beträchtlich abweichender Schwingungsdauer völlig gleichen, weil die unwesentlichen Schwingungen nicht ganz ausbleiben, noch denen, welche wir vorhin am Uebergangspendel beobachtet haben, weil der Gewinn in der ersten Hälfte der Periode und der Verlust in der zweiten sich nicht völlig ausgleichen. Wenn das Aetherpendel nach Beendigung der Schwingungsreihe zur Ruhe kommt, so befindet sich das Uebergangspendel noch in Bewegung, und die in der letztern enthaltene lebendige Kraft stellt eben den Verlust dar, welchen das Licht während der Schwingungsreihe erlitten hat.

Neu-Britz bei Berlin, d. 18. Januar 1872.

(Der zweite Theil mit Nächstem.)

III. *Ueber Abscheidung krystallisirter Kieselsäure aus wässrigen Lösungen;* von O. Maschke.

Meine ersten Versuche über diesen Gegenstand datiren aus dem Jahre 1855; sie wurden in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft veröffentlicht.

Im Interesse der Geologie habe ich diese Untersuchungen — allerdings mit oft großen Unterbrechungen — bis jetzt fortgeführt. Während dieser Zeit gelangten die

so wichtigen Arbeiten von Daubrée, H. Rose, Graham, G. vom Rath und G. Rose zur Publication; Sénarmont's bahnbrechende Forschungen dagegen wurden schon 1851 der Pariser Akademie mitgetheilt¹⁾.

Meine Versuche verfolgten anfänglich in directer Weise die Frage, ob eine Quarzbildung bei gewöhnlicher, oder wenig erhöhter Temperatur und unter den gewöhnlichen Druckverhältnissen aus wässrigen Lösungen möglich sey; sie gaben sämmtlich negative Resultate. Ich ziehe es vor, in einer besonderen Abhandlung darüber zu berichten und dort auch einige Irrthümer meiner oben erwähnten ersten Arbeit nachzuweisen. Da negative Resultate *allein* keine Entscheidung geben konnten, so griff ich schließlicb zur Sénarmont'schen Methode.

Es war Sénarmont gelungen, bei einer Temperatur von 200 bis 300° C. kleine mikroskopische Quarzkrystalle aus wässrigen Lösungen zu erhalten. Ich hoffte nun durch ein Studium der dabei auftretenden Erscheinungen zu einer gewissen Kenntniss der Krystallisations-Bedingungen und damit indirect vielleicht zu einer Lösung der ursprünglich gestellten wichtigen Frage zu gelangen.

Die Methode, der sich Sénarmont und nach ihm Daubrée bediente, ist in Kürze folgende:

Auf einer dunkelrothglühenden Stelle des Retortenofens einer Gasanstalt wurden sehr fest verschlossene,

1) Sénarmont, *Annales de Chemie et de Physique* Tom. 42, p. 129, 1851.

H. Rose, Ueber die verschiedenen Zustände der Kieselsäure. *Pogg. Ann.* Bd. 108, S. 1. 1859.

A. Daubrée, Betrachtung und Versuche über den Metamorphismus und die Bildung kryst. Gesteine. Aus dem 17. Bande der *Mémoires présenté par divers savants à l'Académie des sciences. Paris* 1860, übersetzt von E. Söchting.

Th. Graham, Ueber die Eigenschaften der Kieselsäure und anderer analoger Colloidsubstanzen. *Pogg. Ann.* Bd. 123, S. 529. 1864.

G. vom Rath, *Pogg. Ann.* Bd. 133, S. 507. *Ebend.* Bd. 135, S. 437, 1868.

G. Rose, Ueber Darstellung kryst. Kieselsäure auf trockenem Wege. *Pogg. Ann.* Bd. 139, S. 301. 1870.

starke, eiserne Röhren in einer Lage von Kohlenpulver oder Sand längere Zeit erhitzt. In jeder von diesen Röhren befand sich ein zugeschmolzenes Glasrohr, das mit Lösungen bestimmter Substanzen gefüllt war, und auch Wasser, um für die Glaswandung einen Gegendruck herzustellen.

Sénarmont gebrauchte zur Erzeugung des Quarzes:

Wasser, welches mit Chlorsilicium versetzt worden; ferner verdünnte Lösungen von kieselisaurem Alkali mit einem geringen Ueberschuß von Salzsäure und endlich verdünnte Lösungen von kieselisaurem Alkali mit doppeltkohlensaurem Natron und etwas Auripigment, oder Realgar.

A. Daubrée benutzte Wasser allein und liefs dasselbe auf die Glassubstanz selbst einwirken; ferner das Wasser der warmen Quellen von Plombières „um zu untersuchen, wie sich natürliche Lösungen alkalischen Silicates, soweit als es die Gegenwart des Glases erlaubt, im überhitzten Zustande verhalten“ (S. 91 der bezeichneten Abhandlung).

Ich selbst füllte meine Glasröhren nach vielen misslungenen Versuchen mit einer bei der Kochhitze dargestellten Lösung von amorpher Kieselsäure in Natronlauge ($\text{Na}_2\text{Si}_4\text{O}_9$).

Vollständig unabhängig von Daubrée wurde ich zu diesem Versuche geführt durch meine vorhin erwähnte kleinere Arbeit, ferner durch die Beobachtung, daß gewöhnliches Röhrenglas außerordentlich leicht schon durch Wasser von 100°C . angegriffen werde und endlich durch die Ueberlegung, daß die nicht selten auftretende Zusammenhäufung von reiner, schön krystallisirter Kieselsäure in kleinen, durchaus abgeschlossenen Räumen auf eine Flüssigkeit hinweise, die Kieselsäure in größeren Mengen zu enthalten vermöge. Mich leitete aber auch der Gedanke, daß es vielleicht möglich sey, durch Einwirkung von kieselisaurer Natron-Lösung auf Glas bei Anwendung stark erhöhter Temperatur ein noch kieselisaureneres Natron zu bilden, das auf irgend eine Weise, sey es in

Folge auftretender Zeolithbildung, oder durch einfache Abkühlung einen Antheil seiner Säure im krystallisirten Zustande wieder abscheide. Ein Zusatz von fester amorpher Kieselsäure zur Kieselsäurelösung erschwerte das ordentliche Füllen und Zuschmelzen der Röhren und wurde deshalb unterlassen; auch die Anwendung von Glaspulver unterblieb, um die spätere Untersuchung möglichst einfach zu gestalten.

Vor allen Dingen suchte ich die Art und Weise der Erhitzung einfacher, müheloser und ungefährlicher zu gestalten. Retortenofen und starke, druckfest verschlossene, eiserne Hüllen wurden beseitigt und dafür starke Manometerröhren und der von Erlenmeier in die organische Chemie eingeführte Erhitzungsapparat benutzt.

Die Beschreibung dieses Apparates ist ausführlich angegeben in Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 139, S. 75. Den ganzen Erhitzungsapparat liefs ich, um Temperaturstörungen möglichst auszuschließen und so wenig wie möglich von der Wärme zu verlieren, noch mit einem kastenförmigen, an den schmälern Seiten offenen Mantel aus Eisenblech umgeben; die eisernen Erhitzungsröhren ragten dabei noch etwas über die Ränder des Mantels hervor. Innerhalb dieser Hülle wird der Apparat unverrückbar befestigt, sowie auch diese selbst auf der Platte eines kleinen derben Tisches fest angeschraubt. Zur Aufnahme des Thermometers dient in der oberen Wandung eine Oeffnung; zur Beobachtung der Flamme befindet sich vorne eine Schiebervorrichtung, und um die Erhitzung schon durch ein Höher- oder Tieferstellen der gleichzeitig benutzten 6 bis 8 Bunsen'schen Brenner zu verändern, ragt durch die Tischplatte und durch die untere Fläche des Mantels eine eiserne, verschiebbare, mit den Brennern durch ein Querstück verbundene Stange hervor. Unterhalb der Tischplatte läuft diese Stange in einer Leithülse, wo sie auch mit einer Klemmschraube fest eingestellt werden kann.

Der Gasstrom wird durch einen selbstthätigen Regu-

lator und durch eine Bunsen'sche Klemme, die an dem Gummi-Gasrohr angebracht ist, regulirt.

Zum Schutz gegen die nicht so ganz seltenen Explosionen wurde vor den Enden der Erhitzungsröhren auf jeder Seite des Apparates ein hölzerner, oben offener Kasten so aufgestellt, daß durch eine hinreichend große Oeffnung einer seiner Wände die Glasstücke bei jedem Schuß hineinfliegen konnten. Es ist zweckmäßig, diese Wand, da sie der Hitze stark exponirt ist, mit Eisenblech beschlagen zu lassen und ferner beide Kasten miteinander durch Haken zu verbinden.

Die Dimensionen der Kasten sind folgende:

70 Cm. hoch, 45 Cm. breit, 45 Cm. tief. Die Stärke der Holzwände beträgt nur 1 Cm.; sie ist vollkommen ausreichend, da die Menge der explodirenden Flüssigkeit nur gering ist. Die Holzwände sind übrigens in vier dicke Holzstäbe eingelassen, deren Verlängerung die Füße des Kastens bilden.

Die ganze Einrichtung hat sich seit Jahren bei einer großen Reihe von Versuchen vortrefflich bewährt.

Es dürfte Manchem vielleicht willkommen seyn, wenn ich auch über einige Vorsichtsmaafsregeln und Manipulationen bei der Füllung und dem Zuschmelzen der Glasröhren kurze Mittheilungen mache.

Vor allen Dingen müssen die dickwandigen Röhren gut gekühlt seyn. Eine sorgfältige Reinigung derselben ist selbstverständlich. Man wähle die Länge der Röhren so, daß beim Durchschmelzen in der Mitte zwei zum Füllen geeignete Stücke entstehen. Das Durchschmelzen ist mit größter Sorgfalt auszuführen; die dadurch gebildeten Enden müssen eine recht regelmäßige, kegelförmige Form und die Wandung durch ein längeres Verweilen in der Flamme eine hinreichende Stärke erhalten.

Noch ehe man zur Füllung dieser einseitig zugeschmolzenen Röhren schreitet, ist es zweckmäßig, an der Stelle, wo das zweite Ende entstehen soll, einen Hals von solcher Dicke auszuziehen, daß man denselben schon in

einer einfachen Bunsen'schen Flamme ohne Schwierigkeit durchschmelzen könnte.

Die Füllung geschieht mittelst eines kleinen Trichters, den man sich aus einer gewöhnlichen Glasröhre durch Ausziehen in eine lange und hinreichend feine Capillarröhre herstellt; es ist vortheilhaft, wenn die Capillarröhre eine solche Länge besitzt, daß sie beim Hineinstecken in das Manometerrohr mindestens den Hals desselben erreicht.

Man spritzt nun mittelst einer Druckpipette einige Tropfen der Kieselsäurelösung in den Trichter, hebt ihn heraus und bringt durch kräftige ruckweise Armbewegung die Tropfen in den Raum unterhalb des Halses. In dieser Weise fährt man fort, bis die Röhre zu zwei Drittel mit Flüssigkeit erfüllt ist, dann verschließt man die Oeffnung mit einem locker hineingedrehten Papierpfropfen, um jedes spätere Hineinfallen von fremden Substanzen zu verhindern, zieht sofort eine gut gereinigte, dickwandige Gummiröhre darüber und verschließt das offene Ende derselben mit einem Glasstabe. Nun stellt man die Glasröhre mehrere Stunden in aufrechter Lage bei Seite, damit sich alle Flüssigkeit von der inneren Seite des Halses herabziehen kann; nach der Entfernung des Glasstabes wird sie mit einem etwa 15 Cm. langen, in der Mitte ebenfalls ein wenig ausgezogenen Glasrohr von gewöhnlicher Wandstärke und letzteres schließlich mit einer Luftpumpe luftdicht verbunden.

Nach der Evacuirung schmilzt man den Hals des kleinen gewöhnlichen Röhrenstückes rasch durch. Man hat nun ein Object in den Händen, das beliebig nach allen Richtungen gedreht und gewendet werden kann und es ist auf diese Weise möglich, auch den Hals der Manometeröhre schnell und mit größter Sorgfalt durchzuschmelzen. Sämmtliche Schmelzstellen sind beim Herausheben aus der Flamme stets sofort zu beruhen und recht langsam abzukühlen.

Ich pflege nach dem Verschluss der Röhren und voll-

ständiger Abkühlung sie mehrmals ziemlich kräftig zu schütteln; es tritt dann gewöhnlich ein hart klingender Ton und die Entwicklung einer Unzahl von kleinen Luftbläschen auf. Hört diese Entwicklung trotz erneuten Schüttelns auf, so vertheile ich die Flüssigkeit in der Röhre so, daß der mittlere Raum leer bleibt, daß also in beiden Endtheilen ungefähr dasselbe Flüssigkeitsvolumen vorhanden ist.

In diesem Zustande schiebe ich die Glasröhre in die eiserne horizontale Röhre des Erhitzungsapparates und verschliese letztere locker mit Kreidestöpseln.

I.

50 CC. einer frisch bereiteten 3,95 Proc. Natron haltenden Lauge wurden in einer Platinschale unter lebhaftem Kochen mit so viel amorpher körniger Kieselsäure versetzt, als überhaupt aufgelöst werden konnte; nach dem Erkalten unter einer Glasglocke wurde das ursprüngliche Volumen wieder hergestellt. Mit einem Theil dieser durch Absetzen vollkommen klaren Flüssigkeit, welche also $\text{Na}_2\text{Si}_4\text{O}_9$ enthielt, füllte ich eine Anzahl Manometer-
röhren von 3,75 Mm. Wandstärke und 3 Mm. im Lichten und schmolz sie bei einer Luftverdünnung bis auf 28 Mm. zu.

Die Temperatur wurde nach und nach bis auf 175° bis 185° C. gesteigert; diese wurde 24 Stunden hindurch beibehalten und dann während 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stunden ganz allmählig gedämpft; bei circa 120° C. löschte ich die Flamme und überließ den Apparat der vollständigen Erkaltung.

Sämmtliche Röhren erschienen im Innern undurchsichtig, stellenweise auch durchscheinend weiß; nur der mittlere Raum, der keine Flüssigkeit enthielt, war fast durchsichtig, doch konnte hier schon mit bloßem Auge ein krystallinischer Belag wahrgenommen werden.

Das Oeffnen der Röhre geschah in der Weise, daß man zuerst die beiden Endspitzen abbrach. Das Herausfließende, das ich mit *A* bezeichnen will, wurde in einem besonderen Bechergläschen aufgefangen; etwas destillirtes

Wasser wurde nachgespritzt und das jetzt Abfließende noch mit *A* vereinigt.

Der übrige Röhrentheil wurde nun mittelst zweier Feilstriche und unter Anwendung von Feilkloben in drei Stücke zerbrochen, wovon das Eine fast nur den vorhin erwähnten krystallinischen Belag enthält. Sie wurden zu wiederholten Malen gesondert ausgesüßt und dann mit Papier umwickelt an einem durch Wasserdampf bis auf circa 60° C. geheizten Orte getrocknet. Der Belag liefs sich jetzt mit einer eisernen Nadel ziemlich gut herausstoßen. Ich werde den Inhalt der mittleren Röhrentheile mit *B*, den der übrigen mit *C* bezeichnen.

A.

Die Flüssigkeit zeigte nichts Gelatineuses, wohl aber eine große Menge weißer, feinkörniger Partikel; einige Röhren waren an einzelnen Stellen davon so erfüllt, daß sie mit einer Nadel vorsichtig durchstoßen werden mußten.

Es wurde Wasser hinzugefügt, nach dem Absetzen vorsichtig abgegossen und dieser Abguß filtrirt.

Das Filtrat reagirte stark alkalisch, enthielt Kieselsäure und sehr geringe Mengen Thonerde, Kalkerde, Magnesia. Enthält das Glas Blei, so ist auch dieses in der Flüssigkeit vorhanden.

Der feinkörnige Absatz wurde mit Wasser mehrmals ausgewaschen und dann mit Salpetersäure von 1,18 p. sp. mehrere Stunden lang stark erwärmt. Nach wiederholter Behandlung mit Säure und folgendem Auswaschen zeigt der Rückstand unter dem Mikroskop eine große Menge eigenthümlicher, mehr oder weniger *knollenförmiger Gebilde* von sehr verschiedener Größe. Zuweilen erscheinen sie mit kleinen *spiesigen Krystallen* besetzt.

Diese letzteren Objecte findet man auch isolirt, ferner in Gruppen, oder in Haufen von großem Gewirr. Eine Bestimmung ihrer sehr veränderlichen Größe habe ich bis jetzt als unwesentlich nicht vorgenommen. *Auf polarisirtes Licht reagiren die kleinsten Kryställchen schwach,*

die größeren dagegen sehr kräftig, alle jedoch nur in bestimmter Lage, so daß bei Umdrehung des Objectglases viermal Erhellung und Dunkelwerden eintritt.

Wird der mit Salpetersäure digerirte Rückstand noch zwei bis drei Tage lang mit Normal-Natronlauge bei gewöhnlicher Temperatur behandelt, so zeigt derselbe *nach vollständigem Auswaschen mit angesäuertem und dann reinem Wasser keine Spur der spießigen Krystalle*. Wir werden diese Krystalle unter *B* noch näher kennen lernen.

Der nunmehr bleibende Rückstand besteht außer einigen Glastrümmern und Lamellen *nur* aus jenen eigenthümlichen knollenförmigen Objecten.

Um die chemische Beschaffenheit dieser Substanz zu ermitteln, ist es nöthig, sie zuvörderst von den Glaspartikeln möglichst vollständig zu befreien. Es gelang dieses recht befriedigend auf folgende Weise. Durch einen besonderen Versuch wurde festgestellt, daß das specifische Gewicht der verwendeten Glasröhren bedeutender sey, als das der zu prüfenden Substanz. Nun wurde salpetersaure Quecksilberoxydlösung so weit verdünnt, daß das specifische Gewicht derselben zwischen den specifischen Gewichten jener beiden Körper lag; in diese Flüssigkeit wurde die Substanz hineingeschüttet und nach starkem und wiederholtem Umrühren 24 Stunden bei Seite gestellt. Auf dem Boden sammeln sich fast alle Glastrümmer. Man hat jetzt nur nöthig, die obere Flüssigkeitsschicht mit ihren mikroskopischen Knöllchen mit einem gewissen Geschick abzugießen. Das Abgegossene wird unter einem kleinen Zusatz von Salpetersäure so weit verdünnt, daß die Knöllchen zu Boden fallen; diese werden abgesondert, mit angesäuertem und dann reinem Wasser sorgfältig ausgewaschen und endlich getrocknet; sie erscheinen nun als ein weißes, feinkörniges Pulver.

0,25 dieses Pulvers (die Ausbeute von 10 Röhren), mehrere Stunden lang bei 116° C. getrocknet, gaben 0,2471; diese mehrere Minuten stark geglüht, zeigten einen Verlust von 0,0108 = 4,37 Proc. *Es trat keine Schmelzung*

oder *Zusammensinterung* ein, nur die Farbe wurde auffallend weißer.

0,2343 des geglühten Pulvers wurden nun in einem Platintiegel mit Wasser übergossen und in dem bekannten Bleiapparat der Einwirkung von Fluorwasserstoff ausgesetzt. Es trat vollkommene Lösung ein, und diese Lösung vorsichtig abgedampft, gab einen Rückstand von 0,0014, dessen Bestandtheile nicht weiter bestimmt wurden, da sie selbstverständlich den Basen des Glases entsprechen mußten.

Zieht man nun in Betracht, daß der Rückstand aus Fluormetallen besteht, deren Aequivalentgewicht nicht unbeträchtlich höher ist, als das der entsprechenden Oxyde, so darf man die Beimengungen auf noch nicht $\frac{1}{2}$ Proc. veranschlagen — eine so geringe Menge, daß man vollkommen berechtigt ist, *die untersuchte Substanz nur als wasserhaltige Kieselsäure anzusehen.*

Wird sie mit Normalnatronlauge bei 100° C. im Wasserbade erhitzt, so entsteht nach einiger Zeit *vollständige* Lösung; erhitzt man dagegen kleine Quantitäten mit einer bei gewöhnlicher Temperatur gesättigten Lösung von kohlen-saurem Natron, selbst mehrere Stunden lang, so entsteht *keine* Lösung; wird nun aber wiederholt mit Wasser durch Absetzenlassen ausgewaschen, so ballt das Pulver etwas zusammen und es tritt endlich ein Zeitpunkt ein, wo es fast vollständig verschwunden ist. Ich habe aber auch Lösung eintreten sehen, als nach dreistündiger Erhitzung der Knöllchen mit kohlen-saurer Natronflüssigkeit sofort mit Wasser verdünnt und eine Zeit lang im Wasserbade erwärmt wurde.

Der Wassergehalt der Kieselsäureknöllchen ist ziemlich genau derselbe, den ich für gewöhnliches grobkörniges Kieselsäurehydrat erhielt, das im luftverdünnten Raum über Schwefelsäure getrocknet war. Unter C soll aber nachgewiesen werden, daß die Aufstellung einer chemischen Formel hier nicht zulässig ist.

B.

Der spärliche, durch das Trocknen bei 60° C. weissgewordene Inhalt zeigt unter dem Mikroskop eine grosse Menge von mehr oder weniger spiefsigen, durchsichtigen, doppeltbrechenden Krystallen in Gruppen, Haufen oder auch vereinzelt. Meist sind sie durchsichtigen Lamellen aufgeheftet, doch liegt auch eine grosse Anzahl frei in dem Gesichtsfelde zerstreut und dann zum Theil zertrümmert. Die Gruppen erscheinen häufig als Garben oder Bündel flacher Prismen; die Haufen warzenförmig durch Spiefse, die nach allen Seiten starren; die einzelnen Krystalle als dünne Spiefse, oder als platte, oft schief abgestutzte, zuweilen auch schwalbenschwanzartige Prismen etc.

An eine krystallographische Bestimmung ist wegen ihrer mikroskopischen Kleinheit wohl nicht zu denken.

Es unterscheiden sich die Krystalle in Nichts von den unter A geschilderten. Durch Digestion mit Salpetersäure werden sie nicht verändert; *auch behalten sie ihre Doppelbrechung ungeschwächt bei*. Werden sie alsdann mit kalter Normalnatronlauge 2 bis 3 Tage lang behandelt, so erhalten sie ein meist lichter, fast aufgequollenes Ansehen; sie wirken dann *nicht* mehr auf das polarisirte Licht und werden sie nun mit Wasser in Berührung gebracht, so tritt nach einiger Zeit *vollständige Lösung* ein.

Durch Glühen werden sie fast alle einfach brechend: sie schmelzen und sintern dabei nicht zusammen — selbst bei stundenlanger heftigster Gluth.

Weitere Untersuchungen konnte ich wegen zu geringen Materials bisher nicht vornehmen. Aber schon auf Grund dieser wenigen Reactionen kann kein Zweifel obwalten, daß *fast sämtliche Krystalle Kieselsäurehydrat sind*, welches seine Schwerlöslichkeit in kalter Normalnatronlauge vielleicht einem kleinen Rückhalt an Basen verdankt.

Außer diesem krystallisirten Kieselsäurehydrat und wenigen Kieselsäureknollen wurde durch das Mikroskop noch ein anderes interessantes Object nachgewiesen.

Es zeigten sich nämlich glasähnliche Bruchstücke von zart gestreiftem Ansehen. Es wechseln bei einer gewissen Einstellung helle und dunklere sehr dünne Streifen in grosser Zahl; die dunkeln Schichten erweisen sich amorph, die hellen dagegen bestehen aus äusserst kleinen Krystallindividuen, die senkrecht zur Schichtungslinie dicht aneinander gereiht sind. Bei einer gewissen Lage erscheint ein solches Bruchstück zwischen gekreuzten Nicols vollständig dunkel; dreht man jedoch das Object, so erfolgt viermal abwechselnd Erhellung und Dunkelwerden der zarten krystallinischen Schichten.

Bei Prüfung dieser glasähnlichen Stücke ist es nöthig, sie in einer Ebene zu betrachten, die senkrecht, oder mindestens geneigt ist zu ihren Schichtungsebenen.

Durch stundenlange Einwirkung heisser Salpetersäure werden sie scheinbar nicht verändert — auch nicht in ihrem Verhalten gegen polarisirtes Licht. Durch nachherige Behandlung mit kalter Normalnatronlauge werden sie dagegen lichter und quellen so deutlich auf, dass eine Verzerrung und ein Zerreißen der Schichten eintritt; sie verlieren ihre Reaction auf das polarisirte Licht und verschwinden endlich bei nachträglicher Behandlung mit Wasser.

Sie verhalten sich also in derselben Weise, wie das krystallisirte Kieselsäurehydrat.

Wie hat man nun diese geschichteten Bruchstücke aufzufassen, wie ihre Bildung zu erklären?

Es löst sich das Räthsel, wenn man die Structurverhältnisse der Manometerröhre selbst in Betracht zieht.

Hält man ein kurzes Stück derselben mit möglichst ebenen Bruchflächen gegen das Licht, so kann man mit Hilfe einer Lupe deutlich eine grosse Anzahl von Kreisen erkennen, die das Lumen der Röhre zum Centrum haben; einige von ihnen markiren sich in der Regel so stark vor den übrigen, dass sie schon dem unbewaffneten Auge erkennbar sind. Es stellt also eine solche Röhre gleichsam ein System von in einander gesteckten zartwandi-

gen
Glasv
röhre
lösun
diese
nach
licat
Subs
Zwis
lisirt
also
bleib
alle
Kies
nen
laug
bleib
fen,
auch
gew
ist
Me

Au
arti
dec
um
sic
der

gen Röhren dar. Ich nehme nun an, daß sich an der Glaswandung des mittleren leeren Theiles der Manometer-
röhre durch Flächenanziehung etwas kieselsaure Natron-
lösung auch während der Ueberhitzung hinzieht und daß
diese Flüssigkeit die geschichtete Glasmasse nach und
nach in ein geschichtetes amorphes kieselsäureärmeres Si-
licat verwandelt. Indem aber die Glasschichten durch
Substanzverlust an Volumen abnehmen, entstehen zarte
Zwischenräume, in denen sich nun (siehe S. 551) krystal-
lisirtes Kieselsäurehydrat abzulagern vermag. Wird die
also entstandene Masse mit Salpetersäure behandelt, so
bleibt sie scheinbar unverändert, in der That aber gehen
alle einzelnen Silicatlagen in ebenso viele Lagen amorphen
Kieselsäurehydrats über, die sich nun mit den vorhande-
nen Schichten krystallisirten Kieselsäurehydrats in Natron-
lange und dann Wasser vollständig lösen können. Es
bleibt bei dieser Erklärung allerdings noch die Frage of-
fen, weshalb nur krystallisirtes Kieselsäurehydrat und nicht
auch alles das vorhanden ist, woraus — wie später nach-
gewiesen wird — die Kieselsäureknöllchen bestehen; doch
ist es möglich, daß diese anderen Stoffe wegen geringer
Menge übersehen worden sind.

C.

Der Belag dieser Röhrenstücke war, wie mit bloßem
Auge erkannt werden konnte, oft durch Höhlungen wulst-
artig erhoben, zuweilen mit zapfenartigen Fortsätzen be-
deckt, so daß das Lumen der Röhre in seiner Länge
unregelmäßig verengt erschien; es war ferner deutlich
sichtbar, daß derselbe aus einer Menge von dicht aneinan-
der liegenden schmalen concentrischen Schichten bestand.

Mikroskopisch waren nachweisbar:

- 1) Durchsichtige Lamellen und Bruchstücke mit gleich-
sam filzartigem Ueberzug, ohne Reaction auf das
polarisirte Licht.

- 2) Durchsichtige Lamellen mit klaren Tröpfchen, oder auch Zapfen, deren Wirkung auf das polarisirte Licht sehr zweifelhaft blieb.
- 3) Durchsichtige Lamellen und Bruchstücke mit krystallisiertem Kieselsäurehydrat besetzt.
- 4) Schaum- oder schwammartige Massen, in deren Höhlungen oft krystallisiertes Kieselsäurehydrat beobachtet wurde.
- 5) Kieselsäureknöllchen.
- 6) Die unter *B* besprochenen modificirten Glasstückchen
- 7) Trümmer unveränderten Glases.

Es wurde der ganze Belag mit kochendem Wasser ausgewaschen; aber selbst nach lange fortgesetztem Aussüßen zeigte das Abfließende stets eine kräftige alkalische Reaction und enthielt Kieselsäure, Kalkerde und Natron. Eine quantitative Untersuchung wurde deshalb unterlassen und der Rückstand sofort mit Salpetersäure mehrere Stunden lang erhitzt. Hierbei verschwand die porzellanartige Weiße und das Volumen nahm sichtlich ab, doch konnten auch jetzt noch alle oben angeführten Formen unter dem Mikroskop wahrgenommen werden. In der salpetersauren Lösung waren vorhanden: Kieselsäure, Natron, bedeutende Mengen Kalkerde, geringe dagegen von Eisen, Thonerde, Magnesia; auch waren die Glasröhren bleihaltig, so war Blei in der Lösung nachweisbar.

Der nach der Behandlung mit Salpetersäure einige Male ausgesüßte Rest wurde mit Normalnatronlauge 2 bis 3 Tage lang macerirt und dann mit angesäuertem und schließlich mit reinem Wasser ausgewaschen. Der getrocknete Rückstand bestand aus einigen Glastrümmern, zumeist aber aus Kieselsäureknollen, die also auch hier wieder als fast einziger unlöslicher Rest auftreten. Dieser Rest war im Verhältniß zu dem Rückstande von *A* nicht bedeutend.

Ich gehe nun zur mikroskopischen Untersuchung der interessanten Kieselsäureknöllchen über.

Es zeigt sich bei ihnen eine bedeutende Verschieden-

heit
Knö-
den
ragu-
Die
unte-
zwei-
sind
selte-
Kno-
druc-
nisc-
mei-
daß
For-
tritt
sich
los
Du-
kno-
ter-

änc-
ent-
sch-
du-
dü-

K-
M-
ter-
far-
te-
ve-
sk-
st-
K-

heit in Gröfse und Form; im Allgemeinen ist bei jedem Knöllchen eine, oft mehrere Hauptmassen vorhanden, von denen häufig kleine Nebenmassen, Fortsätze oder Hervorragungen bald an dieser, bald an jener Stelle ausgehen. Die kleineren oder flachen Kieselsäureknollen erscheinen, unter Wasser und in durchfallendem Lichte betrachtet, zweifellos als Complexe von Körnchen; die Körnchen selbst sind durchsichtig, eckig, überhaupt vielgestaltig und nicht selten von deutlich strahlig krystallinischem Gefüge. Viele Knollen, namentlich aber die gröfseren, machen den Eindruck, als wenn auf ihrer Oberfläche eine kleinkrystallinische Ablagerung wäre. Es zeigt sich ferner, dafs die meisten Knollen ein rauchfarbenes Ansehen besitzen und dafs diese Färbung — in Folge der Unregelmäfsigkeit in Form und Gröfse der Knollen — sehr verschieden auftritt; die an der Peripherie der rauchfarbenen Knollen sichtbaren körnigen Protuberanzen sind dagegen meist farblos und durchsichtig. Von gleicher Farblosigkeit und Durchsichtigkeit sind aber auch die ganzen Kieselsäureknollen in ihrem *ursprünglichen* Zustande vor jeder weiteren Behandlung mit Reagentien.

Durch heftiges anhaltendes Glühen tritt keine Formveränderung ein, dagegen wird das rauchfarbene Aussehen entschiedener, so dafs einzelne Knollen nicht einmal durchscheinend sind. Durch Erwärmen mit Wasser, ebenso durch mehrstündige Berührung mit Wasser im luftverdünnten Raum, wird dieses Aussehen nicht geändert.

Im *polarisirten* Lichte zeigen sich alle *nicht geglühten* Knollen doppelbrechend; sie erscheinen mit einer grofsen Menge von kleinen weissen Lichtlinien, Streifen und Punkten, die namentlich in den farblosen Knollen, oder in den farblosen, körnigen, umsäumenden Protuberanzen mit gröfster Schärfe auftreten. Die rauchfarbenen Stellen dagegen verbreiten, selbst bei veränderter Einstellung des Mikroskopes einen Lichtnebel, in dem nur dann vereinzelte Lichtstreifen wahrzunehmen sind, wenn die Rauchfärbung der Knolle nicht bedeutend ist.

Ganz auffallend wird diese Wirkung der Knöllchen auf das polarisirte Licht durch Glühen abgeschwächt.

Einige wenige derselben erscheinen zwar noch ebenso kräftig doppeltbrechend, wie vorher: die meisten aber senden von den bräunlich gefärbten Stellen nur einen *schwachen* Lichtnebel mit ab und zu erkennbaren kleinen Lichtstreifen aus und ihre farblosen körnigen Umsäumungen zeigen *keine* oder nur äußerst sparsame Erhellung; einzelne Knollen verhalten sich sogar in ihrer ganzen Ausdehnung fast völlig indifferent. —

Nimmt man statt Wasser ein stärker brechendes Medium zur Beobachtung z. B. Anisöl, Cassiaöl, oder — wie ich es vorzugsweise bei dieser Arbeit gethan habe — salpetersaure Quecksilberoxydlösung von 2,5 bis 2,6 pond. sp., so werden die *nicht* geglühten Kieselsäureknollen außerordentlich licht; jedes Knöllchen zeigt ein seltsames Gewirr von kleinen, hellen, rundlichen Stellen mit schwachen Contouren; — öfters erscheint auch eine mehr oder weniger starke Umsäumung oder stellenweise Auflagerung der Knöllchen durch eine etwas dunklere Färbung von dem übrigen Theil derselben schwach abgegränzt. Stellt man das Mikroskop auf ein einzelnes Körnchen einer Knolle successive ein, so tritt stets ein Punct auf, wo dieses deutlich einen *röthlichen* Schein, mit bläulichem Rande der etwa angränzenden Flüssigkeit, zeigt, und ist ferner das Licht recht günstig, so kann man die strahlig krystallinische Structur desselben in den meisten Fällen scharf und zweifellos feststellen.

Im *polarisirten* Lichte bei Anwendung derselben Flüssigkeit zeigen sich alle Knöllchen mit einer grossen Anzahl von scharfen, weissen Lichtstreifen, Linien oder Punkten übersät und zwar bei veränderter Einstellung *in allen ihren Theilen, vom Rande bis zur Mitte*. Ein Lichtnebel ist bei keinem derselben wahrzunehmen. *Werden die Knöllchen geglüht* und dann bei *gewöhnlichem*, durchfallendem Licht in salpetersaurem Quecksilberoxyd betrachtet, so zeigen fast alle in ihrem ganzen Umfang, oder nur an ein-

zelenen Stellen eine Schicht, die zuweilen sehr scharf die übrige Masse des Knöllchens begränzt. Die Körnchen dieser Schicht haben schärfere dunklere Linien und ein merklich rötheres Licht, als die des umschlossenen Theils. Wendet man *polarisirtes* Licht an, so erscheint gerade diese *umschliessende Schicht vollständig indifferent.*, während der *umschlossene Theil des Knöllchens nach wie vor die scharfen weissen Lichtstreifen und Punkte zeigt.* Ausser diesen zum Theil veränderten Knollen giebt es aber, wie vorhin erwähnt, stets noch solche, die durch das Glühen gar keine Verminderung ihrer Doppelbrechung erlitten haben; sie besitzen in salpetersaurem Quecksilberoxyd ein ebenso lichtiges Ansehen, als der centrale Theil der ersteren und sind offenbar mit demselben identisch.

Aus den vorstehenden Beobachtungen geht hervor, daß *die meisten Kieselsäureknöllchen aus zwei verschiedenen Substanzen bestehen; wovon die Eine den Kern, die Andere die Hülle derselben bildet.*

Diese Aufeinanderlagerung läßt sich aber noch in anderer Weise deutlich nachweisen. Ich habe früher erwähnt, daß die Knöllchen durch mehrstündige Einwirkung von concentrirter kohlensaurer Natronlösung und nachherige Behandlung mit Wasser zuerst etwas zusammenballen und sich dann vollständig lösen. Verkürzt man diese Einwirkungen etwas und betrachtet den Rückstand unter dem Mikroskop, so sieht man, daß bei den meisten Knöllchen eine Trennung der Hülle von dem Kern stattgefunden hat. Jene bilden trübe, aufgequollene, feinkörnige Massen, diese feine krystallinische knollige Complexe, die zwischen den ersteren zerstreut liegen. Eine Einwirkung auf das polarisirte Licht zeigen die Hüllen nicht, oder nur in äußerst beschränktem Maasse; aber auch bei den Kernen ist eine Verminderung der Doppelbrechung eingetreten; bei den meisten ist sie nämlich stellenweise, bei einigen sogar überall erloschen. Es tritt hier also, ähnlich, wie bei den unter *B* besprochenen spiefsigen Krystallen aus Kieselsäurehydrat, vor der Lösung ein Stadium auf, wo die Dop-

pelbrechung verschwindet. Ein Glähen der Kieselsäureknöllchen vor der Einwirkung des kohlensauren Natrons ändert an dem ganzen Verhalten nichts, nur daß bei den Hüllen dann keine Spur von Doppelbrechung zu erkennen ist. Dieses Verhalten der Knöllchen gab Veranlassung, nachträglich noch die Einwirkung kalter Normalnatronlauge auf dieselben zu untersuchen, in der sie sich bei einer 2 bis 3tägigen Maceration scheinbar unverändert erhalten. Es wurde eine kleine Menge derselben 6 Tage lang mit circa 100 CC. Lauge macerirt und dann innerhalb 8 Tagen wiederholt mit Wasser ausgestüßt. In der That trat während des Aussüßens ein flockenartiges Zusammenballen der Knöllchen ein und das Mikroskop zeigte nur noch sehr wenige derselben, die ihr ursprüngliches Aussehen bewahrt hatten. Bei den meisten Knöllchen war eine Trennung der Hülle von dem Kern eingetreten; erstere waren zu trüben, schleimig granulösen, zuweilen hautartigen, nicht doppeltbrechenden Massen auseinander gegangen, während letztere als klare, fast glänzende, kleine, knollenförmige Gebilde zerstreut umherlagen, die kräftig auf das polarisirte Licht wirkten und an vielen Stellen sehr deutlich strahlig krystallinische Structur zeigten. Durch erneute 8 tägige Einwirkung von Normalnatronlauge und mehrtägige Berührung mit Wasser verloren diese Kerne ihr Depolarisierungsvermögen nicht. Es scheint jedoch, daß viele von ihnen in ihre krystallinischen Partikeln zerfallen, da eine große Menge der letzteren vereinzelt, oder in Gruppen umherlagen und leicht an ihrer Einwirkung auf das polarisirte Licht erkannt werden konnten; die noch unversehrten Kerne erscheinen jetzt in den meisten Fällen weit deutlicher als einzelnen Kryställchen zusammengesetzt, als vorher.

Die Seite 563 erwähnte Rauchfärbung ist ebenfalls eine Folge der Einwirkung der Natronlauge. Sie trat beim Trocknen sofort auf, wenn man dem Aussüßwasser etwas Salpetersäure hinzugefügt hatte.

Außer den beobachteten Bestandtheilen der Kieselsäureknöllchen erkennt man bei Anwendung von salpetersaurem Quecksilberoxyd — mögen die Knöllchen geglüht seyn, oder nicht — zuweilen sehr kleine Partikeln in denselben, die je nach der Einstellung des Mikroskopes bald dunkel, bald bläulich bis bläulichgrün erscheinen. Man kann sie zuweilen mit sehr kleinen Luftbläschen, oder mit kleinen Kanälen oder Lücken im Innern des Knöllchens verwechseln, dann muß man durch Erwärmung oder Bewegung des Objectes zur Entscheidung zu kommen suchen. Ueber ihre Lage konnte nicht immer völlig Sicheres ermittelt werden; manchmal bildeten sie unzweifelhaft den Mittelpunkt der einzelnen strahlig krystallinischen Körnchen. Auch ihr Verhalten gegen polarisirtes Licht läßt sich in den meisten Fällen sehr schwer feststellen, da ihre Gröfse äußerst gering und ihr Reflexionsvermögen bedeutend ist. Bei Anwendung höherer Temperatur, als 175° bis 185° C, bilden sie sich aber weit reichlicher und gröfser, so daß ihre krystallinische Form und ihre Doppelbrechung deutlich hervortritt, ebenso ihre mehr oder weniger centrale Stellung zu Umlagerungen, die sich von den hier besprochenen Substanzen nicht unterscheiden. Die chemische Beschaffenheit dieser Substanzen wurde unter *A* summarisch festgestellt. Es wurde, abgesehen von kleinen Beimengungen, nur Kieselsäure und Wasser gefunden. Durch die mikroskopische Untersuchung wird nun aber klar, daß die Aufstellung einer chemischen Formel nicht möglich ist.

Es ist der Schluß unabweislich, daß *die umlagernden Hüllen aus krystallisirtem Kieselsäurehydrat, die Kerne aus krystallisirter wasserfreier Kieselsäure bestehen.*

Das vorstehend bezeichnete Kieselsäurehydrat halte ich für verschieden von dem unter *B* beschriebenen. Ersteres sondert sich in sehr kleinen strahlig krystallinischen Körnchen, letzteres in Spiefen und Prismen aus; auch die Schwerlöslichkeit in kalter Normalnatronlauge, wenn sie

auch zum Theil von einem Rückhalt an Basen herrühren mag, ist weit bedeutender, als die des spiefsigen Kieselsäurehydrates.

Es muß nun die Frage erörtert werden, *welcher Modification der krystallisirten wasserfreien Kieselsäure* die Kerne der Kieselsäureknöllchen angehören. Bekanntlich hat G. vom Rath den *Tridymit* als eine krystallisirte, wasserfreie Säure nachgewiesen, die sich durch Krystallform und geringeres specifisches Gewicht von dem *Quarz* unterscheidet.

Ich mache hiermit auf ein anderes sehr wesentliches Unterscheidungsmerkmal aufmerksam, das uns gestattet, *sehr kleine Stückchen beider Modificationen sicher und leicht unter dem Mikroskop zu unterscheiden*. Ich meine das *verschiedene Brechungsvermögen beider Substanzen*.

Zur Ausführung nimmt man eine Flüssigkeit, deren *Brechungsexponent zwischen dem des Quarz und des Tridymit liegt*; eine solche Flüssigkeit repräsentirt *salpetersaure Quecksilberoxydlösung von 2,5 — 2,6 pond. sp.*

Bei durchfallendem Lichte treten dann bei einer gewissen Einstellung des Mikroskopes besondere Interferenzfarben auf.

Kleine Quarzstückchen erscheinen bläulich oder bläulich-grün mit röthlichem Saum der angrenzenden Flüssigkeit¹⁾; Tridymitstückchen dagegen umgekehrt; röthlich mit bläulich oder bläulich grünem Saum.

- 1) In Anisöl, dessen Brechungsexponent größer als der des Quarz ist, erscheint letzterer dagegen röthlich. Es dürfte diese Methode für mikroskopische Forschungen namentlich in der Mineralogie von großer Wichtigkeit werden. Aehnlich, wie die Härtescala, könnte man eine Reihenfolge von Flüssigkeiten aufstellen, die sich durch ihren Brechungsexponenten unterscheiden.

Anisöl, Cassiaöl, Terpentinöl, Mohnöl, oder Gemenge derselben, Alkohol, ferner salpetersaure Quecksilberoxydlösung in verschiedenen Verdünnungen dürften ganz zweckentsprechend seyn.

Vor der Hand erscheinen nur farblose, durchsichtige Objecte zu dieser Prüfung geeignet; vielleicht ist es aber möglich, diese Methode so zu modificiren, daß auch das Brechungsvermögen durchsichtiger gefärbter Mineralien zu ihrer Erkennung benutzt werden kann.

Stücke mit dünnen Rändern sind zur Erkennung der Saumfarbe am geeignetsten.

Diejenigen Körper, welche das Licht noch weniger brechen, als Tridymit, erscheinen ebenfalls röthlich, jedoch intensiver; dazu gehört denn auch das krystallisirte Kieselsäurehydrat und namentlich die durch Glühen desselben erhaltene wasserfreie Kieselsäure.

Bei der mikroskopischen Untersuchung der Kieselsäureknollen unter salpetersaurem Quecksilberoxyd haben wir aber gesehen, daß — mit Ausschluß von sehr kleinen, aber nicht häufig auftretenden Partikeln von bläulichem Licht — alle Theile derselben eine röthliche Färbung zeigen; *es müssen demnach die durch Glühen nicht veränderlichen Kerne der Knöllchen aus Tridymit bestehen. Die kleinen starkbrechenden Partikeln von bläulichem Licht können dagegen nichts anderes seyn, als winzige Quarzkörnchen.*

Es mögen die vorstehenden Resultate für diejenigen, welche gegen mikroskopische Forschungen von vornherein Mißtrauen hegen, allerdings noch zweifelhaft erscheinen. Ich hielt es daher für unerläßlich, auch das specifische Gewicht der Kieselsäureknöllchen näher festzustellen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung geben aber, wie ich sofort erwähnen kann, ein treues Spiegelbild der schon gewonnenen Resultate.

Die Methode, die hierbei benutzt wurde, ist eine Combination der Schaffgot'schen Bestimmungsweise mit dem Mikroskop. Sie erfordert zwar viele Zeit und Geduld, gewährt aber den Vortheil, daß man sehr kleine Mengen der Substanz nicht allein in befriedigender Weise auf das specifische Gewicht, sondern auch auf die Gleichartigkeit der Theilchen prüfen kann.

Es wurde nämlich salpetersaure Quecksilberoxydlösung auf ein so hohes specifisches Gewicht gebracht, daß hineingeschüttete Kieselsäureknöllchen trotz starken Umrührens bald wieder zur Oberfläche kamen. Nun wurde von Tag zu Tag ein bis mehrere Cubikcentimeter Wasser hin-

zugefügt, das mit Salpetersäure in dem Verhältniß von 1 Tropfen auf 1 CC. angesäuert war und damit so lange fortgefahren, bis auf dem glatten, glänzenden Boden des Becherglases die ersten Partikeln mit einer Lupe zu erkennen waren. Diese Partikelchen untersuchte ich nun auf ihre Beschaffenheit. Sie wurden mit 1 CC. Pipette aufgeschlürft, was ohne besondere Schwierigkeit ausgeführt werden kann. Da nämlich nur kleine Quantitäten des Pulvers geprüft wurden, so zog sich dieses stets an den Rand der Flüssigkeit und ließ den mittleren Theil der Oberfläche frei, durch den dann die Pipette, deren oberes Ende mit dem Finger verschlossen und deren Spitze vorher in eine klare Quecksilberoxydlösung getaucht worden, ohne Weiteres versenkt werden konnte. War die Spitze in die Nähe der Partikelchen gelangt, so wurde der Finger etwas gelüftet, wodurch diese dann mit etwas Flüssigkeit in den inneren Raum derselben gelangten. Nach dem Herausziehen der Pipette wurde der befeuchtete Theil vorsichtig mit Fliesspapis abgetrocknet und um jeden Irrthum auszuschließen, noch 1 bis 2 Tropfen der aufgeschlürften Flüssigkeit herausgelassen. Nun vertheilte ich den Inhalt auf eine Anzahl von Objectgläschen, stellte die Beschaffenheit der Partikelchen fest und bestimmte, wenn diese als Kieselsäureknöllchen erkannt wurden, in bekannter Weise das specifische Gewicht der Flüssigkeit.

Zweckmäßiger wäre es allerdings noch, das specifische Gewicht der Flüssigkeit nach jedesmaligem Zusatz von 1 CC. Wasser zu nehmen; das specifische Gewicht der niederfallenden Knöllchen muß dann zwischen den beiden letzten Gewichtsbestimmungen liegen und es liegt auf der Hand, daß man bei Anwendung einer größeren Menge von Quecksilberlösung die Genauigkeit der Bestimmung auf eine Höhe bringen kann, die in der That nichts zu wünschen übrig läßt. Nach dieser ersten Hauptbestimmung wird mit dem Wasserzusatz fortgefahren und der Absatz einer fortlaufenden mikroskopischen Bestimmung

unterworfen. Nach einiger Zeit tritt ein Punkt ein, wo der grössere Theil der Kieselsäureknöllchen, selbst nach Tage langem Stehen, sich in der Flüssigkeit schwebend erhält; es wurde alsdann die zweite Hauptbestimmung des specifischen Gewichtes der Flüssigkeit gemacht. Die dritte und letzte Hauptbestimmung geschah, wenn auf der Oberfläche der Flüssigkeit nur noch vereinzelt Knöllchen aufgefunden werden konnten. Ich habe diese ganze Bestimmungsweise auch in umgekehrter Weise ausgeführt. Die Quecksilberlösung wurde so verdünnt genommen, daß die Kieselsäureknöllchen untersanken; der Zusatz geschah dann mit einer concentrirteren Quecksilberlösung so lange, bis die letzten Partikelchen von dem Boden des Glases verschwanden.

Das Vorhandenseyn von Kieselsäureknöllchen auf dem Boden des Glases läßt sich schon mit der Lupe ziemlich gut constatiren. Beschattet man den obern vordern Theil des Glases etwas mit der Hand, so zeigen die Knöllchen ziemlich deutlich ein weißliches Licht, was bei den vorhandenen Glaspartikeln selten der Fall ist.

Ich mache übrigens darauf aufmerksam, daß es bei den hier vorkommenden mikroskopischen Bestimmungen durchaus nöthig ist, auch polarisirtes Licht anzuwenden. Das Aussehen der Knollen ist in gewissen Stadien der Verdünnung der Quecksilberlösung so licht, daß man sie leicht übersehen kann, während sich zwischen den Nicols die Anwesenheit derselben sofort durch die bekannten Lichtstreifen kund giebt.

Im Nachfolgenden theile ich zwei meiner Versuchsreihen schon des besseren Verständnisses wegen ausführlich mit:

Salpetersaure Quecksilberoxydlösung bei $19^{\circ}\text{C.} = 2,5185$. Die über Chlorcalcium getrockneten Kieselsäureknöllchen hineingeschüttet, wiederholt tüchtig umgerührt und einer mehrtägigen Ruhe überlassen: der Boden des Becherglases blieb vollständig blank.

Zusatz von 1 CC. angesäuerten Wassers; nach dem Umrühren 24 Stunden Ruhe.

1 CC. Wasser; 24 St. Ruhe

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

1 CC. Wasser; " "

Boden blank

Boden blank

Auf dem Boden einige Glasstückchen

Zahl der Glasstückchen vermehrt

Wie vorher

Unverändert

Unverändert

Ein Paar Kieselsäureknöllchen. Noch einmal 24 Stunden Ruhe: von Neuem einige Knöllchen. In einem derselben konnten *sehr deutlich* kleine das Licht stark brechende Partikelchen wahrgenommen werden.

Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bei 20° C. = 2,3905.

Von Neuem ein Paar Kieselsäureknöllchen

Anzahl der Knöllchen etwas vermehrt; in einigen derselben mit voller Sicherheit kleine, scharf umgränzte, stark brechende Partikeln

Einige gröfsere Knöllchen mit sehr kleinen dunkeln Partikeln in ihrer ganzen Ausdehnung.

Spec. Gew. = 2,3483 bei 19° C.

Anzahl der Knöllchen vermehrt. Flüssigkeit klar.

Anzahl vermehrt, einige in der Flüssigkeit schwebend.

Wie vorher.

Eine ansehnliche Zahl von Knöllchen auf dem Boden und ebenso in der Flüssigkeit schwebend.

Spec. Gew. = 2,2937 bei 20° C.

Auf dem Boden viele Knöllchen, in der Flüssigkeit ebenso.

Der Boden ganz bedeckt von Knöllchen, auch in der Flüssigkeit sehr viele schwimmend

Wie vorher

1 CC. Wasser; 24 St. Ruhe

Wie vorher

2 CC. Wasser; " "

Die Flüssigkeit von kleinen Knöllchen nur noch etwas getrübt. Der Rand der Oberfläche zeigt nur noch sehr wenige Knöllchen, außerdem einige Bastfasern und Stückchen von modificirtem Glase, die der Lösung entgangen waren.

Spec. Gew. = 2,2192 bei 20° C.

Bei der anderen Versuchsreihe wurde der umgekehrte Weg eingeschlagen. Zufälliger Weise war die Quecksilberlösung so verdünnt, daß die Kieselsäureknöllchen in großer Zahl Tage lang in der Flüssigkeit schweben blieben, während sich auch ein deutlicher Absatz von ihnen gebildet hatte. Spec. Gewicht = 2,310 bei 18°,5 C. Als das Gewicht durch Zusatz von concentrirter Quecksilberlösung auf 2,3352 bei 19°,5 C. gestiegen war, erschien die Flüssigkeit nach 15 Stunden noch nicht klar; auf dem Boden des Becherglases befanden sich ebenfalls noch Kieselsäureknöllchen; in vielen derselben konnten kleine, stark brechende Partikel deutlich wahrgenommen werden.

Bei der letzten Bestimmung waren auf dem Boden neben Glastrümmern nur noch sehr wenige und zwar mit kleinen dunkeln Partikeln versehene Knöllchen zu erkennen.

Spec. Gewicht = 2,3639 bei 19°,5 C.

Nach den Angaben von G. vom Rath ist das specifische Gewicht des Tridymit 2,29 bis 2,32; das des krystallisirten Kieselsäurehydrats muß selbstverständlich geringer seyn und da ferner das specifische Gewicht des Quarz 2,5 bis 2,6 ist, so tritt aus den beobachteten Gewichtsschwankungen von 2,3905 bis 2,2192 und ferner 2,3639 bis 2,310 ganz deutlich hervor, daß die Kieselsäureknöllchen ein mannigfaches Gemenge von Tridymit, krystallisirtem Kieselsäurehydrat und Quarz seyn müssen. —

Ich führe nun schließlic in Kürze noch einige Versuche an, die dazu bestimmt waren, die Temperaturgränze

festzustellen, bei der die Bildung der doppeltbrechenden Kieselsäureknöllchen aufhört. Es wurden zu diesem Zweck mit Natronsilicatlösung gefüllte Röhren

- 1) 48 Stunden lang bei 155° bis 165° C.
- 2) 12 Tage " " 117° bis 125° C.
- 3) 4 Wochen " " 99° bis 103° C.
- 4) 4 Wochen " " 75° bis 85° C. erhitzt.

Bei No. 1 waren doppeltbrechende Kieselsäureknöllchen in bedeutender Zahl aufzufinden, in geringer Menge bei No. 2, äußerst sparsam bei No. 3.

Bei No. 4 waren zwar auch einige knollenähnliche Gebilde vorhanden, sie hatten aber größere Dimensionen, waren von etwas flacherer Form, reagierten *nicht* auf das polarisirte Licht und erinnerten lebhaft der Formen, die ich bei gewöhnlicher Temperatur aus einem Gemenge von kohlenaurer Natronflüssigkeit, etwas Natronlauge und Kochsalzlösung bei allmählichem Zutritt von atmosphärischer Luft erhielt.

Leider waren diese Versuche zu einer Zeit angestellt, in der ich noch nicht die complicirte Zusammensetzung der Knöllchen erkannt hatte, es müssen daher weitere Untersuchungen lehren, von welcher Beschaffenheit diese bei niedrigen Temperaturen erzeugten Gebilde eigentlich sind.

Für die Erklärung des Herganges bei der Abscheidung der Kieselsäureknöllchen und der Bildung der Zeolithischen Masse ist vor allem Folgendes hervorzuheben:

Da der Tridymit der Knöllchen in der Regel von krystallisirtem Kieselsäurehydrat umlagert ist, so sind selbstverständlich beide Substanzen nicht gleichzeitig, sondern *zuerst* der Tridymit und *später* das Kieselsäurehydrat entstanden. Diese Aufeinanderfolge muß hier nothwendig so stattgefunden haben, daß sich der wasserfreie Tridymit bei *höherer*, das Kieselsäurehydrat bei einer später eintretenden *niedrigeren* Temperatur bildete.

Die Kieselsäureknöllchen wurden also während der Abkühlung der Röhre ausgeschieden (a).

Die größte Menge der Knöllchen konnte aus der Röhre schon durch Herausspritzen und durch ein vorsichtiges Durchstoßen mit einer Nadel erhalten werden; daraus ergibt sich, daß sie die oberste Schicht des Belages bildeten und

daß daher die darunter befindliche Zeolithische Masse desselben im Wesentlichen früher vorhanden war, als die Kieselsäureknöllchen (b).

Ich machte ferner darauf aufmerksam, *daß die Zeolithische Masse, ähnlich wie beim unveränderten Glase, aus einer Menge dicht aneinander liegender schmaler Schichten bestehe (c).*

Aus diesen drei Sätzen *a, b, c* ergibt sich meines Erachtens als einfachste, ungezwungenste Erklärung des Abscheidungsprocesses folgende, zum Theil schon S. 551 und 561 berührte Ansicht:

Bei Ueberhitzung von Natronsilicatlösung wird die umgebende Glasmasse Schicht für Schicht angegriffen; es löst sich vorzugsweise Kieselsäure, indem ein kieselsäurereicherer Natron gebildet wird. Diese Verbindung nun verwandelt sich beim Erkalten wieder in ein kieselsäureärmeres Natron unter Ausscheidung freier Kieselsäure in Form von Knöllchen. Die Glasmasse aber geht durch ihren Verlust an Kieselsäure Schicht für Schicht in ein Silicat über, das durch Aufnahme von Wasser schließlic eine geschichtete Zeolithische Substanz darstellt. —

Ich habe gezeigt, daß die Knöllchen außer Tridymit und krystallisirtem Kieselsäurehydrat noch Spuren von Quarz enthalten. Der Schluß liegt also nahe, daß die Temperatur von circa 180° C. nicht weit von der Gränze entfernt seyn kann, wo Quarz sich überhaupt noch bildet. In der That! Wird die Temperatur auf 195° bis 205° C. erhöht, so tritt bei langsamer Abkühlung eine schon merkliche Vermehrung von Quarz in den Kieselsäureknöllchen auf und es können diese Quarzpartikeln dann ganz deutlich, als eckige, doppeltbrechende Körnchen erkannt werden.

Hieraus und aus der Bildungsweise der Knöllchen ergibt sich aber in allgemeinen Zügen Folgendes:

Bei circa 180° C. und darüber scheidet sich freie Kieselsäure aus wässrigen alkalischen Lösungen als Quarz aus; unterhalb 180° C. zuerst als Tridymit, dann als krystallisirtes und endlich als amorphes Kieselsäurehydrat in hintereinander folgenden, noch zu bestimmenden Temperaturgränzen.

Es ist kaum zu bezweifeln, daß das vorstehende Gesetz auch für *saure* wässrige Lösungen Geltung habe. Einige wenige Versuche mit verdünnter Salzsäure (vielleicht erweist sich Phosphorsäure zweckmäßiger), die ich in Glasröhren bei 170° bis 180° C. erhitzte, lieferten zwar *keine* knollenförmigen Gebilde, wohl aber die bekannten Krystallspießse und ferner federbartähnliche, durch Querabsätze unterbrochene Formen. Erstere zeigten sich in kalter Natronlauge und dann Wasser löslich, letztere nicht; beide wirkten doppeltbrechend. *Quarzige Ausscheidungen*, die sich schon durch stärkere Reflexion und Brechung des Lichtes verrathen hätten, *wurden nicht bemerkt*.

Es ist aber ferner auch nicht zweifelhaft, daß jenes Gesetz der Kieselsäureabscheidung *in der Natur* eine gewisse Modification erleiden kann; dort vermag einer der Factoren in einer Gröfse aufzutreten, über die wir in unseren Laboratorien nur schwierig verfügen; ich meine den viel geschmähten „*erhöhten Druck*“.

Stark erhöhter Druck führt aber sicherlich die Möglichkeit mit sich, Quarz, sowie Tridymit und krystallisirtes Kieselsäurehydrat auch bei niedrigeren Temperaturen zu erzeugen. Wie weit nun dieses Herabdrücken der Temperatur getrieben werden kann, ob durch die Verwandtschaftskraft der Kieselsäure zum Wasser eine für Quarz und Tridymit bald erreichte, unüberwindliche Schranke gegeben ist, darüber läßt sich, vorläufig wenigstens, kaum eine Vermuthung aufstellen.

Es scheint mir aber, als ob schon ein sorgsameres, eingehenderes Studium der natürlichen Kieselsäurebildungen

und vielleicht auch des verkieselten Holzes¹⁾ viel Licht über diese Angelegenheit verbreiten könnte. Wir haben wenigstens seit Kurzem zwei ausgezeichnete Arbeiten, die auf diesem indirecten Wege einige höchst wichtige That-sachen aufgedeckt haben;

die erstere aus dem Jahre 1868 von Vogelsang und Geifslers (Pogg. Ann. Bd. 137, S. 56.); sie weist das ziemlich häufige Vorkommen von *flüssiger Kohlen-säure* in den Vacuolen der Bergkrystalle nach, die einen Druck von mindestens 75 Atmosphären bei der Bildung der Krystalle voraussetzt, während bei meinen obigen Versuchen die Temperatur von circa 180° C. nur einer Spannung von 10 bis 11 Atmosphären entspricht.

Die zweite aus dem gegenwärtigen Jahre 1871 von Forster (Pogg. Ann. Bd. 143, S. 173); sie weist als Ursache der durchgehenden, tiefschwarzen Färbung der im Canton Uri im Jahre 1868 entdeckten riesigen Bergkrystalle (Morionen) eine *Kohlenstoff und Stickstoff haltige Materie* nach, die in einer Sauerstoff freien Atmosphäre bei 200° C. so vollständig abdestillirt werden kann, daß die Krystallsubstanz farblos und wasserhell wird. —

In dem nächstfolgenden Abschnitt meiner Arbeit werde ich speciell über künstlichen Quarz und über meine Beob-

- 1) Nach einer beiläufigen Untersuchung eines verkieselten Holzes, das ich durch Hrn. Geh. Rath Göppert erhielt, fand ich, daß von den ursprünglichen Tüpfelzellen noch die innerste Schicht der Zellwandung vorhanden war. Es konnte dieses durch halbstündiges Erhitzen feiner Splitter mit Natronlauge bei 100° C. leicht constatirt werden; bei einigen dieser Objecte entstand sogar durch Zusatz von Jod und Schwefelsäure eine graue Färbung mit einem leisen Stich ins Violette. Wurde das Holz auf Platinblech erhitzt, so trat schwärzliche Färbung ein. Die Ausfüllung der Zellen bestand fast nur aus *Tri-dymit*, da durch Glühen das Depolarisationsvermögen nicht verändert wurde und da geglühte und mit Säure behandelte Stückchen in salpetersaurer Quecksilberoxydlösung von 2,5 p. sp. unter dem Mikroskop die rüthliche Interferenzfarbe zeigten.

achtungen der Structurverhältnisse des Feuersteins und Chalcedons berichten.

Aus dem vorliegenden Abschnitt geht aber mit größter Wahrscheinlichkeit — ich könnte fast sagen, mit voller Gewißheit — hervor, daß

sich Quarz unter keinen Umständen bei gewöhnlicher oder wenig erhöhter Temperatur und bei gleichzeitig vorhandenem gewöhnlichem Druck aus wässrigen Lösungen zu bilden vermag.

Breslau, im September 1871.

IV. Ueber die Zerstreuung der Elektricität in Gasen;

von Dr. E. Warburg,

Privatdocenten der Physik an der Universität zu Berlin.

Der langsame Elektricitätsverlust geladener Leiter, die an festen Isolatoren befestigt und von Luft umgeben sind, beruht nach Coulomb ¹⁾ im Allgemeinen auf einer doppelten Ursache. Erstens auf der Unvollkommenheit des Isolirungsvermögens der festen Stützen, über deren Oberfläche hinweg ein Abfluß der Elektricität Statt findet. Zweitens wird dem Körper von seiner Ladung durch die Luft entzogen, indem die den Körper berührenden Lufttheilchen elektrisirt, abgestoßen werden und neuen unelektrischen Theilchen Platz machen, welche dieselbe Wirkung erleiden. Die besseren Isolatoren isoliren nach Coulomb Dichtigkeiten, die eine gewisse Gränze nicht überschreiten, vollständig; diese Gränze ist je nach dem Isolirungsvermögen eine verschiedene. Bei kleineren Dichtigkeiten bleibt dann nur der Luftverlust bestehen, für welchen das einfache Gesetz gilt: daß die Zeit, nach Ablauf deren die Ladung auf einen aliquoten Theil ihrer GröÙe reducirt

1) Mémoires de l'Acad. des sciences 1785, p. 612 ff.

ist, einen constanten Werth hat. Bedeutet nämlich Q die Elektrizitätsmenge auf dem Leiter zur Zeit t , Q_0 ihren Werth zur Zeit Null, so ist nach Coulomb's Gesetz

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\frac{1}{2p} \cdot t}$$

wo e die Basis des natürlichen Logarithmensystems und $2p$ die Zeit ist, nach Ablauf deren eine Ladung Q auf $\frac{1}{e} Q$ reducirt ist.

Nach Riefs¹⁾ wird $\frac{1}{p}$, in der Torsionswaage um so kleiner gefunden, eine je größere Elektrizitätsmenge in der Waage befindlich ist, was nach demselben auf Elektrisirung der in der Waage eingeschlossenen Luftmasse beruht.

Weitere Versuche über den langsamen Elektrizitätsverlust, besonders in feuchter Luft, sind von Dellmann²⁾ angestellt worden. Endlich hat Matteucci³⁾ den Elektrizitätsverlust in verschiedenen trockenen Gasen, nämlich in Kohlensäure, Luft und Wasserstoff untersucht. Nach Matteucci ist derselbe in allen Gasen gleich. Derselbe Forscher giebt an, daß sich schwache Ladungen in Luft von 1^{mm} bis 1,2^{mm} Druck mehrere Tage erhalten.

Derjenige Theil des Elektrizitätsverlustes eines geladenen Körpers, welcher nicht von den ihn stützenden Isolatoren herrührt, soll im Folgenden als von der *Zerstreuung* der Elektrizität herrührend bezeichnet werden. (vgl. Riefs, Elektrizitätslehre I, S. 107).

Es ist mir für die Lehre von der atmosphärischen Elektrizität wichtig erschienen, zu wissen, in welcher Weise die Zerstreuung der Elektrizität von der Dichte der Luft abhängt. Ferner schienen Versuche mit verschiedenen

1) Pogg. Ann. Bd. 71, S. 359 ff. Elektrizitätslehre I, S. 141 bis 146.

2) Ueber die Gesetzmäßigkeit und die Theorie des Elektrizitätsverlustes. Kreuznach 1864.

3) *Comptes Rend.* XXV, p. 244. XXVIII, p. 508. C. R. XXV wird angegeben, der Elektrizitätsverlust sey in Wasserstoff etwas geringer, als in Kohlensäure und Luft; C. R. XXVII wird diese Angabe zurückgenommen.

Gasen Aufschluß über den Mechanismus des in Rede stehenden Vorganges zu versprechen. Die Ergebnisse einer in dieser Richtung von mir angestellten Untersuchung sind am Schlusse dieses Aufsatzes zusammen aufgeführt. Die Versuche wurden im Allgemeinen nach der Coulomb'schen Methode angestellt, indem man die Abnahme der Abstößungskraft beobachtete, welche zwei gleiche und gleichnamig elektrisirte Metallscheiben bei constanter Entfernung in einer Drehwaage auf einander ausübten.

1. Beschreibung der benutzten Drehwaage.

Die Drehwaage, welche ich zu diesen Versuchen benutzte, ist nebenstehend schematisch gezeichnet. Betreffs ihrer Construction hebe ich folgende Punkte hervor.

Erstens, daß der Innenraum der Waage gegen den äußeren Luftraum hermetisch abgeschlossen und mit einem beliebigen Gase gefüllt werden konnte, dessen Druck das Manometer M angab.

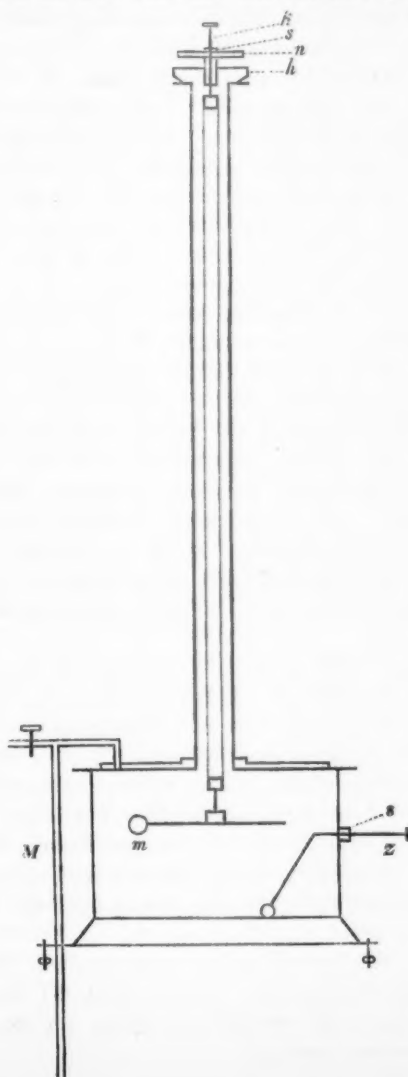
Weiter stellte sich die Nothwendigkeit heraus, die Versuche über einen sehr langen Zeitraum auszudehnen. Unter diesen Umständen erwies sich die Torsionskraft von Metallfäden wie von Glasfäden zu den Messungen wegen der elastischen Nachwirkung durchaus untauglich. Es wurde daher die Directions-kraft einer bifilaren Aufhängung benutzt, welche letztere zwar in der Handhabung etwas unbequem ist, aber sichere Resultate liefert.

Der elektrische Zustand von Glasflächen, in deren Nähe sich elektrische Körper befinden, ist im Allgemeinen ein variabler. Zur Vermeidung der hieraus entspringenden Fehlerquelle wurden die inneren Glaswände der Waage mit Metallbelegungen bekleidet, welche sämmtlich unter einander und mit der Erde in leitender Verbindung standen.

Die Stellung des Waagebalkens ward mittels Spiegelablesung beobachtet.

Im Einzelnen ist Folgendes zu bemerken. Das gläserne *Gefäß*, ein Cylinder von 125^{mm} Höhe und 180^{mm} innerem Durchmesser, ist fest mit einem auf drei Stell-

schrauben ruhenden Holzfufse verbunden. Auf den Boden
des Gefäßes ist eine verzinnnte Blechscheibe gelegt, und



an die Seitenwände ein Mantel aus demselben Material gestellt. Die *Deckplatte* ist aus 8^{mm} dickem Spiegelglase und außen durch eine 3^{mm} dicke Messingscheibe und messingene Rippen verstärkt; der Rand der Deckplatte ist auf den Rand des Gefäßes eben abgeschliffen. In die mit der Deckplatte verbundene, 560^{mm} lange Glasröhre wird eine aufgeschlitzte Blechröhre von 100^{mm} Länge hineingesteckt, welche eine die innere Oberfläche der Deckplatte bedeckende Blechscheibe trägt und sich in dem Glasrohr federnd hält. Nur ein durch ein planparalleles Glas verschlossenes Loch und eine kleine Stelle an dem Zuleiter *z* bleiben von den Metallbelegungen frei.

Die bifilare Aufhängung besteht aus zwei ungedrehten Coconfäden; dieselben sind mit ihren oberen Enden an ein Holzstück gekittet, welches mit dem in der Stopfbüchse *s* verschiebbaren und drehbaren Drahte *k* verbunden ist. Durch Drehung der Scheibe *n* in der Scheibe *k* kann der Draht *k* und mit ihm die Verbindungslinie der oberen Aufhängepunkte um einen beliebigen Winkel gedreht werden. Die Größe dieser Drehung giebt ein mit der Scheibe *n* verbundener Zeiger an, dessen verticale Spitze sich längs der getheilten hohen Kante der Scheibe *k* bewegt. Die letztere ist in die Messingfassung der Röhre eingeschraubt.

Ein Holzstückchen, an das die unteren Fadenenden gekittet sind, trägt den aus Schellack geformten Waagebalken, an dessen einen Arm die Messingscheibe *m* befestigt ist (Durchmesser der Scheibe 17^{mm}). Derselben steht die ihr gleiche Scheibe *m'* gegenüber, deren Schellackstütze an der Seitenwand des Gefäßes festsetzt ¹⁾. An die Mitte des Waagebalkens ist ein versilberter verticaler Planspiegel angekittet, dessen Stellung mittels Scala und Fernrohr beobachtet wird. Die Bewegungen des Waagebalkens sind durch die Scheibe *m'* auf der einen Seite und durch einen Kupferdraht auf der anderen Seite begrenzt.

Zur Elektrisirung der Scheiben dient der Zuleiter *z*, ein 2^{mm},5 dicker Messingdraht, welcher in der Stopf-

1) In der Figur nicht gezeichnet.

büchse s' drehbar und verschiebbar ist. Der in der Waage befindliche Theil ist winklig gebogen und endigt in eine Messingkugel. Durch Einschieben und Drehen des äußeren Armes wird die Kugel mit der festen Scheibe in Berührung gebracht, die bewegliche durch Drehung der Scheibe n an die feste angedrückt und beide gemeinschaftlich durch den Zuleiter elektrisirt. Nach Zurückziehung des letzteren bringt man die Scheiben noch einmal in Berührung, um eine möglichst gleiche Elektrisirung derselben zu erreichen. Die Kugel des Zuleiters wird darauf mit dem Bodenblech der Waage, der äußere Arm mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt; es werden hierdurch sämtliche Metallbelegungen zur Erde abgeleitet.

Mit Hülfe von ein wenig Fett und Oel wird die Waage in allen ihren Theilen luftdicht gemacht. Die Abnahme der Ladung ward nach Coulomb's Methode bei constanter Entfernung der Scheiben beobachtet, und zwar befand sich dabei der Waagebalken in derjenigen Lage, welche er bei unelektrischen Scheiben vermöge der bifilaren Aufhängung einnahm. Seyen bei demselben Abstände der Scheiben Q_0 und Q'_0 , Q_1 und Q'_1 , Q_2 und Q'_2 die Elektricitätsmengen auf denselben zu den Zeiten 0, t_1 , t_2 , so ist unter Annahme des Coulomb'schen Gesetzes

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 \cdot e^{-\frac{1}{2p} \cdot t_1} & Q'_1 &= Q'_0 \cdot e^{-\frac{1}{2p} \cdot t_1} \\ Q_2 &= Q_0 \cdot e^{-\frac{1}{2p} \cdot t_2} & Q'_2 &= Q'_0 \cdot e^{-\frac{1}{2p} \cdot t_2} \end{aligned}$$

Sind weiter θ_1 und θ_2 die Winkel, um welche die Verbindungslinie der oberen Aufhängepunkte gegen die der unteren zu den Zeiten t_1 und t_2 verdreht ist, so hat man

$$A \cdot \sin \theta_1 = Q_1 \cdot Q'_1 = Q_0 \cdot Q'_0 \cdot e^{-\frac{1}{p} \cdot t_1}$$

$$A \cdot \sin \theta_2 = Q_2 \cdot Q'_2 = Q_0 \cdot Q'_0 \cdot e^{-\frac{1}{p} \cdot t_2}$$

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = e^{-\frac{1}{p} (t_2 - t_1)}$$

$$\frac{1}{p} = \frac{\log \sin \theta_1 - \log \sin \theta_2}{(t_2 - t_1) \cdot \log e},$$

wo $t_1, t_2, \theta_1, \theta_2$ beobachtet werden. Wenn das Coulomb'sche Gesetz besteht, so muß sich $\frac{1}{p}$ constant ergeben. Als Zeiteinheit ist die Minute gewählt. $\theta_2 - \theta_1$ ward immer ungefähr $= 5^\circ$ genommen; der wahre Winkelwerth von je 5° des vom Mechaniker erhaltenen Theilkreises ward ermittelt, indem man die entsprechende Drehung eines mit der Scheibe n verbundenen verticalen Planspiegels durch Spiegelablesung bestimmte.

Die Gröfse $\frac{1}{p}$ ist im Folgenden *Verlustcoefficient* genannt; der Theil derselben, welcher von der Zerstreuung in die Luft herrührt, *Zerstreuungcoefficient*.

2. Gröfse und Dauer des Ladungsverlustes, welcher durch die Elektrisirung der festen Stützen herbeigeführt wird.

Als ich die Versuche begann, wollte es durchaus nicht gelingen, constante Zahlen zu erhalten. Im Allgemeinen fand ich die Angabe von Riefs bestätigt, daß der Verlustcoefficient $\frac{1}{p}$ sich desto kleiner ergibt, eine je gröfsere Elektricitätsmenge in der Waage befindlich ist. Aber ferner erhielt man, wenn die Schellacktheile frisch waren, einen weit gröfseren Verlustcoefficienten, als wenn dieselben durch kurz vorhergehende Versuche elektrisch geworden waren. Da sich stets trockenes Gas in der Waage befand, so konnte die Schellackoberfläche bei den Versuchen nicht merklich verändert worden seyn. Es ergab sich

schliesslich: dass durch das Elektrischwerden der anfänglich unelektrischen Stützen zuerst eine *viel grössere* Abnahme der Ladung herbeigeführt wird, als durch die Zerstreuung in die Luft; dass ferner das Elektrischwerden *viele Stunden in abnehmender Stärke merklich* andauert, weshalb man verschiedene Werthe des p erhält, je nach der Grösse des Zeitraumes, welcher den Zeitpunkt der Elektrisirung von dem der Messung trennt; dass aber, wenn dieser Zeitraum hinreichend gross geworden ist, eine weitere Vergrösserung desselben keine weitere Aenderung des p mehr herbeiführt, und für diese Grösse bei gleicher Beschaffenheit des die Waage erfüllenden Gases und gleicher Stellung der Scheiben Werthe erhalten werden, die innerhalb der Versuchsgränzen unabhängig sind von der Elektrizitätsmenge, die sich in der Waage befindet.

Zum Beweise dieser Behauptungen führe ich von vielen Versuchen die folgenden an.

Den 8. Januar. Die Waage ist mit trockener Kohlensäure gefüllt. Unelektrische Schellacktheile. Die Scheiben 6^h elektrisirt.

Zeit	θ	p
7 ^h 10'	67° 44'	
7 20	62 44	248
7 37	58 8	373
7 58	53 20	367
8 27	48 26	416

Die Scheiben wurden jetzt entladen und gleich auf's Neue mit einer solchen Elektrizitätsmenge geladen, dass am 9. Januar Morgens die Bestimmung der Grösse p beginnen konnte. Dasselbe am 10. 11. Januar. Die Scheiben standen nie über eine Stunde ungeladen.

θ	p		
	9. Jan.	10. Jan.	11. Jan.
67° 44'			
62 44	1017		900
58 8	1031		980
53 20	1033		1010
48 26	977		
43 38	1001	1273	
39	1075	1151	
34 5	1000	1092	
29 21	1000		

Es wird also ein zwei bis viermal so großer Elektrizitätsverlust gefunden, wenn die Schellacktheile frisch sind, als wenn sie längere Zeit über mit den geladenen Scheiben in Berührung gewesen sind; es wird ferner p constant gefunden, wenn der Zeitpunkt der Elektrisirung von dem der Messung um 7 Stunden oder länger getrennt ist. Die Schwankungen in den Werthen der Gröſſe p an den drei Beobachtungstagen sind zwar größer als die Beobachtungsfehler, aber unregelmäßig. Sie scheinen in einer kleinen Veränderlichkeit des elektrischen Zustandes der Stützen begründet zu seyn.

Es ist im Vorhergehenden gesagt worden, daß der große Ladungsverlust bei frischen Schellacktheilen durch das Elektrischwerden derselben herbeigeführt werde. Man könnte dagegen verschiedene Einwände machen.

Riefs, der zuerst auf die Veränderlichkeit des p in der Drehwaage aufmerksam gemacht hat, führt die Verknüpfung eines kleineren Elektrizitätsverlustes mit einer größeren Elektrizitätsmenge darauf zurück, daß die in der Waage eingeschlossene Luft nach Maßgabe der Ladung der Scheiben (Kugeln) mehr oder weniger stark elektrisirt werde und denselben desto weniger Elektrizität entziehe, je stärker sie (gleichnamig) elektrisirt sey. Man könnte darnach das am 9., 10. Januar erhaltene größere p dadurch erklären wollen, daß die Gasmasse der Waage die ganze Nacht über der Wirkung der elektrisirten Scheiben

ausgesetzt gewesen sey. Diese Ansicht findet ihre Widerlegung in der Thatsache, daß, wenn man das Gas am anderen Morgen erneut, dasselbe grofse p erhalten wird.

Man könnte ferner meinen, daß durch den Gebrauch der Stützen ihr Leitungsvermögen verändert werde. Aber ein frischer Schellackcylinder, dessen eines Ende an eine der Scheibe befestigt wird, und dessen anderes Ende in die Luft mündet, hat auf den Ladungsverlust denselben Einfluß, wie eine frische Schellackstütze, deren anderes Ende zur Erde abgeleitet ist. In einem Versuch ward bei frischen Stützen in trockener Luft $p = 545$ gefunden. Die Deckplatte ward jetzt abgenommen, dieselbe nach $\frac{1}{4}$ Stunde wieder aufgesetzt und der Apparat wieder mit trockener Luft gefüllt. Bei derselben Ladung ergab sich $p = 718$. Dieselbe Operation ward jetzt wiederholt, aber ehe die Deckplatte wieder aufgesetzt wurde, befestigte man an der festen Scheibe zwei frische Schellackcylinder, welche in die Luft mündeten. Jetzt fand sich $p = 416$. Von einem Abfluß der Elektricität über die Stile hinweg kann hier nicht die Rede seyn. — Ist der angesetzte Stil einmal hinreichend elektrisch geworden, so übt er auf den Werth des p keinen bedeutenden Einfluß mehr aus.

Man könnte endlich vermuthen, daß ein merklicher Theil der beobachteten Abstofungskraft von der Abstofung der gleichnamig elektrisirten Schellacktheile des Balkens und der festen Stütze herrühre, und dieser Theil mit der Zeit nur wenig abnehme. Dieser Einwand wird dadurch widerlegt, daß gleich nach Entladung der Scheiben der Balken merklich diejenige Gleichgewichtslage annimmt, welche ihm die Directions-kraft der biflaren Aufhängung ertheilt.

Die Ursache des raschen Ladungsverlustes bei unelektrischen Stützen muß daher in dem Elektrischwerden selbst der Stützen gesucht werden. Dieses Elektrischwerden scheint in doppelter Weise vor sich zu gehen. Erstens verbreitet sich eine gewisse Elektricitätsmenge langsam über die Oberfläche des Schellacks. Zweitens werden die Stützen durch die Ladung der Scheiben in den-

selben Zustand versetzt, wie die isolirende Zwischenschicht der Franklin'schen Tafel durch die Ladung der Belegungen. In der That sind die Bedingungen der Rückstandsbildung durch die Anordnung der Versuche qualitativ gegeben, und man beobachtet nach Entladung der Scheiben, daß dieselben langsam wieder eine, wenn auch schwache, Ladung annehmen.

Eine genauere Untersuchung dieser Verhältnisse einer nächsten Arbeit vorbehaltend, erwähne ich hier noch, daß die Abnahme der Ladung durch Elektrisirung der Stützen innerhalb eines längeren Zeitraumes nahezu dem von Coulomb für den Luftverlust gegebenen Gesetze folgt.

Wenn die Stützen so lange dem Einflusse der elektrisirten Scheiben ausgesetzt gewesen sind, daß durch Fortsetzung dieses Einflusses der Werth von p nicht mehr geändert wird, so werde ich den Zustand der Stützen als den *gesättigten* bezeichnen ¹⁾. Nach den mitgetheilten Versuchen geben Versuche mit gesättigten Stützen in der Drehwaage Werthe von p , welche unabhängig sind von der in der Waage befindlichen Elektrizitätsmenge, und bei gleicher Stellung der elektrisirten Scheiben in der Waage nur noch abhängen können von der Natur und Dichte des in der Waage eingeschlossenen Gases.

Es läßt sich nun zeigen, daß wenigstens $\frac{2}{3}$ dieses constanten Ladungsverlustes von der Zerstreuung der Elektrizität in das Gas hinein herrühren; denn verringert man den Druck der Luft in der Waage auf 70^{mm}, so findet sich der Ladungsverlust $\left(\frac{1}{p}\right)$ auf $\frac{1}{3}$ seines Werthes verringert.

Dennoch kann man aus den erhaltenen Zahlen nicht auf den absoluten Werth der Zerstreuung schließen, welche die Ladung der Scheiben erfahren würde, wenn dieselben frei in einem größeren Luftraume und in größerer Entfernung von anderen Leitern schwebten. Schon Riefs macht auf die störende Wirkung der nahen Wände der Waage

1) Es soll damit nicht behauptet werden, daß bei diesem Zustande kein Elektrizitätsverlust mehr durch Einfluß der Stützen Statt finde.

aufmerksam; es scheinen sich ferner die beiden Scheiben gegenseitig zu beeinflussen und endlich ist es möglich, daß der elektrische Zustand der Stützen selbst die Zerstreuung in die Luft merklich modificirt. Soweit meine Versuche reichen, wächst p mit dem Abstand der Scheiben; um aber in Bezug auf diese Punkte die Versuche genügend zu variiren, war der Rauminhalt der Waage nicht groß genug. Betreffs der absoluten Werthe der ermittelten Zahlen sey daher nur erinnert, daß bei einer Luftbeschaffenheit, bei welcher Coulomb $\frac{1}{p} = \frac{1}{11}$ bis $\frac{1}{100}$ fand, in den vorliegenden Versuchen $\frac{1}{p} = \frac{1}{1000}$ erhalten wurde.

Dagegen kann man aus den erhaltenen Zahlen anscheinend schließen auf die relative Größe der Zerstreuung in Gasen von verschiedener Natur und Dichte: wenn man in zwei Versuchen, die sich durch nichts unterscheiden, als durch verschiedene Beschaffenheit des die Waage erfüllenden Gases, Werthe von $\frac{1}{p}$ findet, die sich wie 1 : 2 verhalten, so wird man schließen, daß in dem einen die Elektrizität wenigstens eine doppelt so starke Zerstreuung erlitten hat, als in dem anderen. Ob dieser Schluß ohne Weiteres auf einen größeren Luftraum auszudehnen ist, wage ich noch nicht zu entscheiden; dafür spricht der Umstand, daß das *Verhältniß* der Verlustcoefficienten bei *verschiedener Dichte der Luft* unabhängig von dem Abstände der Scheiben gefunden wurde.

Ich will jetzt weiter durch ein Beispiel zeigen, daß Versuche mit ungesättigten Stützen, wie man sie bisher angestellt hat, auch über die relative Größe der Zerstreuung keinen genügenden Aufschluß geben. Es ward die Größe p mit unelektrischen Stützen in Luft von 120^{mm} Druck bestimmt; man fand

θ		
67° 44'		
62 44	620	
58 8	966.	

Nachdem trockene Luft bis zum Druck von 760^{mm} zugelassen war

$$\begin{array}{rcl} & \theta & \\ 58^{\circ} & 8' & \\ 53 & 20 & 683. \end{array}$$

Durch Versuche mit gesättigten Stilen ist bei Luft von 760^{mm} Druck $p = 1200$, bei 135^{mm} Druck $p = 2400$ gefunden worden (vgl. unten unter 3 und 4).

Die beschriebenen Thatsachen und Betrachtungen haben daher ergeben: daß Versuche mit gesättigten Stützen constante Werthe des Verlustcoëfficienten liefern und Aufschluß geben über die relativen Zerstreuungscoefficienten verschiedener Gase; daß dagegen Versuche mit ungesättigten Stützen über diese Werthe genügenden Aufschluß zu geben nicht im Stande sind.

3. Abhängigkeit des Zerstreuungscoefficienten trockener Gase von deren Dichte und Natur.

Die nachfolgende Tabelle enthält ohne Auswahl die Werthe von p , welche für getrocknete atmosphärische Luft, Kohlensäure und Wasserstoff unter verschiedenem Druck bei derselben Stellung der Scheiben in der Waage erhalten wurden. Der Abstand der Scheiben von der nächsten Wand betrug 28^{mm}, der Abstand der Scheiben von einander ungefähr 30^{mm}. Die Temperatur war die des geheizten Zimmers (18° C.). Bei ungefähr 50^{mm} Druck und $\theta = 45^{\circ}$ fing die Elektrizität an, auszuströmen. Die frischen Stützen wurden gesättigt, indem sie erst zwei Stunden lang mit den elektrisirten Scheiben in Berührung standen; darauf wurden die letzteren entladen, gleich wieder elektrisirt und befanden sich fortan nie länger, als eine Stunde im unelektrischen Zustande. Die Versuche für den folgenden Tag wurden jedesmal am vorhergehenden vorbereitet, indem zwischen 10 und 12 Uhr Abends den Scheiben eine solche Elektrizitätsmenge mitgetheilt ward, daß am nächsten Vormittage die Messungen beginnen konnten. Um die Waage mit irgend einem trockenen Gase

zu füllen, ward dieselbe fünfmal leergepumpt und nach dem Evacuiren das betreffende Gas eingeleitet. Die Gase durchstrichen sämmtlich, ehe sie in die Waage eintraten, fünf Glasröhren von 500^{mm} Länge, von denen die erste mit Wasser, die vier folgenden mit Schwefelsäure genäßte Glasperlen enthielten. Das Wasserstoffgas ward außerdem mit Kalilauge gewaschen. Kohlensäure ward aus Marmor- und verdünnter Salzsäure, Wasserstoff aus Zink und verdünnter Schwefelsäure dargestellt. Die erste Spalte enthält die Werthe von θ , bei welchen beobachtet ward, die zweite die umgekehrten Werthe der Verlustcoëfficienten (die Zeiten in Minuten, nach Ablauf deren die Abstoßungskraft der Scheiben A auf $\frac{1}{e} A$ reducirt ist). Es wurde negative Electricität angewandt.

Kohlensäure.

Druck 760^{mm}.

θ	P		
	9. Jan.	10. Jan.	11. Jan.
67° 44'			
62 44	1017		
58 8	1031		
53 20	1033		900
48 26	977		980
43 38	1001		1010
39	1075	1273	
34 5	1000	1151	
29 21	1000	1092	

Druck 380^{mm}.

θ	P 20. Jan.
48° 26'	
43 38	1666
39	1730
34 5	1603
29 21	1504

Druck 80^{mm}.

θ	P 27. Dec.
43° 38'	
37 54	2545
30 27	2682

Atmosphärische Luft.

Druck 760^{mm}.

θ	p			
	30. Dec.	12. Jan.	13. Jan.	21. Jan.
58° 8'				
53 20			1050	1155
48 26	1020		1034	1178
43 38	1063	1092	1091	1051
39		1038		
34 5		1086		

Druck 380^{mm}.

θ	p
	17. Jan.
62° 44'	
58 8	1756
53 20	1768
48 26	1681
43 38	1811
39	1819
34 5	1733

Druck 70^{mm}.

θ	p
	30 Dec.
32° 5'	
30 25	3441

Wasserstoff.

Druck 760^{mm}.

θ	p		
	31. Dec.	15. Jan.	1. Jan.
67° 44'			
62 44	2060	2506	2060
58 8	2282	2874	
53 20	2310	2804	2249
48 26		2773	
43 38		2608	2163

Druck 380^{mm}.

θ	p
	1. Jan.
53° 20'	
48 26	3721

Die Schwankungen in den Werthen des p bei gleicher Beschaffenheit des die Waage erfüllenden Gases sind wohl hauptsächlich Schwankungen in dem elektrischen Zustande der festen Isolatoren zuzuschreiben. — Die Versuchsreihe vom 9. Jan. (Kohlensäure), welche einen Zeitraum von

über 10 Stunden in Anspruch nahm, zeigt besonders augenscheinlich, daß die Abnahme der Ladung nach dem Coulomb'schen Gesetze vor sich geht.

Die Vergleichung der in Gasen von verschiedener Natur und Dichte erhaltenen Werthe des p giebt zu folgenden Bemerkungen Veranlassung.

1. Man könnte vermuthen, daß die beträchtlichen Unterschiede, welche diese Werthe zeigen, darin begründet seyen, daß eine an der Schellackoberfläche adsorbirte Gasschicht Aenderungen erlitt. Dagegen spricht u. A. der Umstand, daß in Kohlensäure und Luft merklich gleiche Werthe des p erhalten wurden. Man darf daher schließen, daß die in Rede stehenden Unterschiede herrühren von einer verschiedenen Zerstreuung der Elektrizität in die verschiedenen Medien hinein, welche die Waage erfüllten.

2. In Luft von 70^{mm} Druck ist p dreimal so groß, als in Luft von 760^{mm} Druck gefunden; das größte p (3700) ist in Wasserstoff von 380^{mm} Druck erhalten. Daraus folgt, daß wenigstens $\frac{2}{3}$ des gefundenen p in Luft von gewöhnlicher Dichte der Zerstreuung zuzuschreiben ist. Der Ursprung des übrigen Drittels bleibt unbestimmt. Es folgt weiter, daß die Ladung durch Zerstreuung in Luft von 760^{mm} Druck einen wenigstens dreimal so großen Verlust erlitten hat, als in Luft von 70^{mm} Druck; ferner ist die Zerstreuung schon bei dem Druck einer halben Atmosphäre bedeutend kleiner gefunden, als in Luft von gewöhnlicher Dichte und ist (s. unten Tab. unter 5) bei 135^{mm} etwa halb so groß als bei 760^{mm} Druck¹⁾.

1) Was ich an früheren Untersuchungen über diesen Gegenstand gefunden habe, sind erstens Versuche von Riefs (Elektricitätslehre I, S. 43; Dove's Rep. II, 15), aus welchen derselbe schließt, daß ein Druck von 28 Zoll Quecksilber auf die elektrischen Moleküle die Zerstreuung derselben durchaus nicht mehr verhindert, als ein Druck von 3 Linien; zweitens die Angabe Matteucci's (Compt. R. XXV, p. 334 ff.), daß in Luft von 1^{mm} bis 1^{mm},2 Druck schwache Ladungen sich mehrere Tage erhalten.

3. In Luft und Kohlensäure hat sich die Zerstreuung nahe gleich ergeben, in Wasserstoff etwa halb so groß, als in jenen beiden Gasen.

Zur Beurtheilung dieser Resultate muß bemerkt werden, daß in den Gasen, welche die Drehwaage erfüllten, ohne Zweifel kleine feste Theilchen schwebten, welche unabhängig von dem sie umgebenden Gase einen Elektrizitätsverlust für die Scheiben herbeiführen konnten. Solche Staubtheilchen werden gegen die Scheiben anfliegen, nachdem sie eine Ladung angenommen haben, wieder abgestoßen werden und so den Scheiben von ihrer Ladung entziehen (Faraday Exp. Res. Vol. I §§. 1562 bis 67; 1624). Der durch diese Theilchen herbeigeführte Elektrizitätsverlust wird u. A. abhängen von ihrer Natur, Größe, Gestalt und von der Zahl solcher Theilchen in der Raumeinheit. Diese Verhältnisse aber werden sich ändern, wenn die Natur und Dichte des Gases geändert wird. Leitet man verschiedene mit Salmiaknebeln imprägnirte Gase in eine Glasflasche, welche man verschließt, nachdem sie sich mit dem nebelhaltigen Gase gefüllt hat, so bemerkt man, daß der Nebel in Wasserstoff bedeutend rascher sinkt, als in Luft und Kohlensäure; ferner um so rascher, je dünner die Luft in der Flasche ist ¹⁾. Danach ist anzunehmen, daß in verdünnter Luft weniger feste Theilchen schweben, als in Luft von gewöhnlicher Dichte, und daß dieselben *c. p.* im Wasserstoff in geringerer Zahl und Größe vorhanden sind, als in Luft und Kohlensäure. Aus diesem Grunde scheint es denkbar, daß die beobachteten

- 1) Nach Stokes (*Cambr. Trans. Vol. IX*) ist die Endgeschwindigkeit v einer in Luft fallenden sehr kleinen Kugel $= \frac{2g}{9\mu'} \left(\frac{\sigma}{\varrho} - 1 \right) \cdot a^2$, wo a den Radius der Kugel, σ ihre Dichte, ϱ die Dichte der Luft, $\mu' \varrho = \mu$ die Constante der innern Luftreibung bedeutet. Ist die Kugel aus fester Substanz, so kann man 1 gegen $\frac{\sigma}{\varrho}$ vernachlässigen und erhält $v = \frac{2g\sigma a^2}{9\mu}$. Nach Maxwell und Meyer ist μ unabhängig von der Dichte der Luft, so daß dasselbe für v gelten würde.

Aenderungen des p bei Aenderung der Natur und Dichte des gasförmigen Mediums in der Waage von Aenderung des Staubgehaltes herrührten.

Es ist mir trotz vieler Bemühungen nicht gelungen, für oder gegen diese Ansicht einen entscheidenden Versuch zu finden. Bei Anwendung möglichst staubfreier (durch die fünf beschriebenen Röhren gereinigter) Luft erhielt ich zwar nahe dieselben Werthe des p , wie bei Anwendung staubhaltiger (ungetrockneter) Zimmerluft. Es wird indess der ursprünglich trotz sorgfältigen Abwischens in der Waage vorhandene Staub durch wiederholtes Auspumpen der Luft und Einleiten staubfreien Gases nach Wild ¹⁾ nicht gänzlich entfernt. Dafs überhaupt feste Theilchen in der Waage schwebten, schienen folgende Umstände anzuzeigen. Bringt man Luft oder Kohlensäure von dem Druck einer Atmosphäre auf den einer halben, so findet man die Zerstreuung nicht sofort auf denjenigen Werth verringert, den man erhält, wenn das verdünnte Gas längere Zeit in der Waage gestanden hat ²⁾. Dies scheint auf ein allmähliches Sinken fester Theile zu deuten. Bei stärkeren Verdünnungen stellt sich der constante Werth sofort ein. — Verdünnt man, bis Ausströmen der Elektrizität erfolgt, so tritt dieses, wenn die erforderliche Verdünnung hergestellt ist, nicht sofort ein, sondern gewöhnlich erst nach einigen Minuten. Durch ein gelegentlich vorbeifliegendes Staubtheilchen scheint die Entladung vermittelt zu werden (Faraday Exp. Res. Vol. I §. 1391 bis 92).

Wenn in den mitgetheilten Versuchen über die Zerstreuung der Staub eine wesentliche Rolle nicht gespielt hat, so nimmt nach denselben das Zerstreuungsvermögen der Gase selbst mit ihrer Dichte ab und ist für Wasserstoff kleiner als für Luft und Kohlensäure. Da die Schlagweite in verdünnter Luft und in Wasserstoff von gewöhnlicher Dichte gröfser ist, als in Luft von 760^{mm} Druck, so

1) Pogg. Ann. 135, 105.

2) In den Versuchen der obigen Tabelle hatte das verdünnte Gas die Nacht über in der Waage gestanden.

müßte man weiter annehmen, daß die Fähigkeit der Gase, die Elektrizität langsam zu zerstreuen, von ganz anderen Eigenschaften abhängt, als ihre Fähigkeit, der elektrischen Entladung den Durchgang zu verstatten.

4. Der Zerstreuungscoefficient ist für positive und negative Elektrizität gleich ¹⁾.

Bei den über diesen Gegenstand angestellten Versuchen war der Abstand der Scheiben etwas größer, als bei den vorigen. Daraus erklären sich die etwas größeren absoluten Werthe der Coëfficienten *p*.

Atmosphärische Luft.

Negative Elektrizität.

θ	p
48° 26'	
43 38	1272
39	1259
29 21	1220

Positive Elektrizität.

θ	p
53° 20'	
48 26	1207
43 38	1272
39	1300

Wasserstoff, positive Elektrizität.

Druck 760^{mm}.

θ	p
67° 44'	
58 8	2853
48 26	2785

Druck 380^{mm}.

θ	p
48° 26'	
43 38	3831

5. Zerstreuung in feuchter Luft.

Getrocknete Luft.

θ	p	Druck
43° 38'		
39	1270	760 ^{mm}
34 5	2457	135 ^{mm}

1. Febr.

Ungetrocknete Zimmerluft.

θ	p	Druck
34° 5'		
29 21	1075	760 ^{mm}

1) Vgl. *Biot, Traité de phys. exp. et math. II*, 256 bis 58.

Getrocknete Luft.

6. Febr.

Ungetrocknete Zimmerluft.

θ	p
67° 44'	
62 44	1191
58 8	1228

θ	p
58° 8'	
53 20	648
48 26	761
39	1069
34 5	1069

Die Luft ist durch eine 500^{mm} lange mit feuchten Glasperlen gefüllte Röhre geleitet.

7. Febr.

θ	p
39°	
34 5'	1000
29 21	957

Als am 6. Febr. die ungetrocknete Luft eingeleitet ward, sank p von 1228 auf 648 und stieg bis auf 1069 ($\theta = 39^\circ$), von wo ab diese Gröfse sich nicht weiter änderte. Im Uebrigen ist p in feuchter Luft bei *gesättigten* Stützen nur sehr wenig kleiner gefunden, als in getrockneter.

Schon Munck af Rosenschöld¹⁾ hat auf Grund anderer Versuche behauptet, daß feuchte Luft die Electricität nicht stärker zerstreue, als trockene. Dessen Versuche sind indeß nicht als beweisend betrachtet worden²⁾. Den hier vorliegenden Versuchen steht allerdings die Autorität Coulomb's gegenüber, welcher bei 87° des Haarygrometers einen nahe fünfmal so großen Verlustcoefficienten erhielt, als bei 69° und diesen Unterschied dem in der Luft vorhandenen Wassergase zuschrieb. Aber erstens hat Coulomb mit unelektrischen Stützen experimentirt; ferner fand derselbe³⁾, daß eine Aenderung im Stande des Hygrometers nicht sofort eine Aenderung der Zerstreung herbeiführe. Als z. B. an einem Tage das Hygrometer sich um 8 bis 10° im Sinne abnehmender Feuch-

1) Pogg. Ann. 31, 433 ff.

2) Riefs, Dove's Rep. II, 28.

3) Mém. de l'Acad. des sciences 1785, pag. 626. Sixième Remarque.

tigkeit geändert hatte, fand Coulomb $\frac{1}{p} = \frac{1}{36}$ und erst einige Tage darauf bei ungeändertem Stande des Hygrometers $= \frac{1}{100}$. Dies wird erklärt durch eine Art Adhärenz zwischen dem Wasserdampf und der Luft, was man heute nicht gelten lassen wird. Auch Riefs¹⁾ giebt an, daß man die Zerstreuung zuweilen in entgegengesetzter Weise verändert finde, als man nach dem hygrometrischen Zustande der Luft erwarten könne.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind folgende:

1. Der Elektrizitätsverlust eines geladenen Körpers durch Einfluß des ihn stützenden Isolators ist, so lange der Isolator nicht bis zu einem gewissen Grade elektrisch geworden ist, verhältnißmäßig groß, nähert sich aber mit der Zeit langsam einem kleinen constanten Werthe, welchen er erst nach vielen Stunden erreicht.

Betrachtet man den Isolator als einen schlechten Leiter, so wird anfänglich, bei starkem Gefälle des Potentials, ein verhältnißmäßig bedeutender Abfluß von Elektrizität in denselben hinein Statt finden, bei dem schwachen Gefälle, welches dem stationären Zustande entspricht, ein verhältnißmäßig unbedeutender.

Versuche über die Zerstreuung der Elektrizität in Gasen müssen daher bei stationärem (gesättigtem) Zustande der Stützen angestellt werden.

Für Schellackcylinder von 1^{mm} Durchmesser und 20^{mm} Länge, an denen Metallscheiben von 17^{mm} Durchmesser befestigt sind, ist in der Nähe des unelektrischen Zustandes der Stützenverlust groß gegen den Luftverlust, im stationären Zustande der Stützenverlust klein gegen den Luftverlust (bei 760^{mm} Druck). Hierauf beruht die Möglichkeit, beide Verluste durch Messung zu trennen.

2. Die Zerstreuung der Elektrizität in Gasen geht nach dem Coulomb'schen Gesetze vor sich.

3. Die Zerstreuung ist in trockener Kohlensäure und

1) Elektrizitätslehre I, S. 117.

atmosphärischer Luft nahe gleich gefunden, in Wasserstoff ungefähr halb so groß, als in jenen Gasen.

4. Der Zerstreuungscoefficient nimmt schon bei einer Druckverminderung von 760^{mm} auf 380^{mm} bedeutend ab, und ist bei 70^{mm} Druck (in Luft) höchstens $\frac{1}{3}$ so groß, als bei 760^{mm}.

5. Feuchte Luft zerstreut die Elektrizität nicht merklich stärker, als trockene Luft.

6. Die Zerstreuung der positiven und negativen Elektrizität geht mit gleicher Schnelligkeit vor sich (vgl. Biot).

Die numerischen Ergebnisse beziehen sich zunächst nur auf die Verhältnisse, unter welchen experimentirt wurde, und welche deshalb ausführlich beschrieben sind. Zu allgemeineren Folgerungen bedarf es weiterer Versuche unter anderen Verhältnissen. Der Apparat, in welchem die Zerstreuung Statt findet, wird von dem Melsapparat zu trennen seyn. Da aber die hierzu erforderlichen Instrumente mir noch nicht zu Gebote stehen, und der Einfluss der Natur und Dichte eines Gases auf sein Zerstreuungsvermögen unter gewissen Umständen durch die vorliegenden Versuche festgestellt ist; so habe ich geglaubt, dieselben schon ohne jene Ergänzung vorlegen zu dürfen, welche bald zu liefern ich bemüht seyn werde.

Berlin, 20. Febr. 1872.

V. Ueber das Gefrieren der Salzlösungen; von Fr. Rüdorff.

Die interessante Abhandlung des Hrn. de Coppet in den *Annales de chimie et de physique* (4) t. XXIII. p. 366 bis 405 über obiges Thema giebt mir Veranlassung zu einigen Bemerkungen über denselben Gegenstand und zur Mittheilung von Versuchen, welche ich schon vor längerer Zeit angestellt habe.

I. In den früher¹⁾ von mir mitgetheilten Versuchen über das Gefrieren des Wassers aus Lösungen, welche Hr. de Coppet einer eingehenden Besprechung unterwirft, habe ich gezeigt, daß jeder Salzlösung ein constanter Gefrierpunct zukommt, daß die Erniedrigung des Gefrierpunctes unter 0° abhängt von der Natur des gelösten Salzes, und bei ein und demselben Salz proportional ist der Menge desselben, daß einige Salze ihren Einfluß auf die Erniedrigung des Gefrierpunctes als wasserfreie, andere als mit einer bestimmten Menge Wasser verbundene Salze ausüben. Ich glaubte aus diesen Versuchen auf die Constitution der Lösungen schließen zu dürfen, und zeigte besonders beim Kochsalz und Kupferchlorid, daß die Constitution der Lösungen dieser Salze von der Temperatur und der Concentration abhängt. Bei Anstellung dieser Versuche wurde ich auf die Frage geführt, ob sich aus einer nicht gesättigten Salzlösung beim Gefrieren derselben nur Wasser oder mit diesem auch Salz in fester Form ausscheidet und ich hatte gehofft, diese oft debattirte Frage durch einige Versuche endgültig dahin entschieden zu haben, daß beim Gefrieren der Lösungen nur Wasser fest wird. Hr. de Coppet hält meine Versuche nicht für beweisend. Bei dem allgemeinen Interesse, welches diese Frage besitzt, scheint es mir angemessen, die Gründe, welche mich zu meiner Behauptung geführt haben, hier kurz zusammenzustellen:

1) Die überaus zahlreichen Versuche über die Zusammensetzung des Wassers, welches durch Aufthauen des Eises aus Meerwasser und anderen Salzlösungen erhalten wird, haben übereinstimmend einen geringeren Salzgehalt ergeben als die ursprüngliche Lösung ihn zeigte, und dieser Salzgehalt ist um so geringer, je langsamer das Eis sich bildete. Schon dieser Umstand spricht dafür, daß der geringe Salzgehalt dieses Eises von anhaftender oder in den Lamellen des porösen Eises eingeschlossener Salzlösung herrührt.

1) Diese Annalen Bd. CXIV, S. 63 und CXVI, S. 55.

2) Die Lösung des tiefrothen Magnesiumplatincyans ist völlig farblos. Das aus einer nicht gesättigten Lösung dieses Salzes gefrierende Eis ist ebenfalls farblos und erscheint erst dann gefärbt, wenn man dieselbe unter den Gefrierpunct der gesättigten Lösung abkühlt.

3) Eine übersättigte Lösung von schwefelsaurem oder kohlensaurem Natron läßt sich unter den Gefrierpunct der gesättigten Lösung abkühlen, ohne daß sich Salz oder Eis ausscheidet. Wirft man in eine solche übersättigte und überkältete Lösung ein Körnchen Eis, so scheidet sich nur Eis, beim Hineinwerfen einer Spur Salz nur Salz und beim Hineinwerfen von Salz und Eis beide zugleich aus. Hätte sich im ersten Falle mit dem Eise zugleich auch nur eine Spur Salz ausgeschieden, so würde die ganze Menge des überflüssig in der Lösung enthaltenen Salzes fest geworden seyn. Ich halte diesen Versuch auch jetzt noch für entscheidend trotz der Einwendung des Hrn. de Coppet, daß sich möglicher Weise in dem Eise aus Glaubersalzlösung ein Salz von der Zusammensetzung $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ befinden und für dieses Salz der Zustand der Uebersättigung nicht eingetreten seyn könne, wie es für das Salz $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O}$ der Fall sey.

4) Es ist aber auch ohne alle Versuche klar, daß sich aus einer nicht gesättigten Salzlösung — denn von einer solchen kann hier überhaupt nur die Rede seyn — mit dem Eise kein Salz ausscheiden kann. Nimmt man an, es scheide sich salzhaltiges Eis aus, so würde das feste Salz in Berührung mit Eis unter Temperaturerniedrigung sich sofort wieder auflösen, wie dieses bei den Kältemischungen aus Eis und Salz der Fall ist. Es wird sich also gewiß kein Salz unter Umständen ausscheiden, unter denen es nicht bestehen kann.

II. In den oben citirten Abhandlungen habe ich gezeigt, daß die Erniedrigung des Gefrierpunctes des Wassers aus Salzlösungen bei einigen Salzen wie Kochsalz, Salmiak und anderen proportional ist dem Gehalt an Salz.

Bezeichnet man, wie ich dieses schon in den früheren Mittheilungen gethan habe, die Menge des in 100 Theilen Wasser gelösten Salzes mit M und die Erniedrigung des Gefrierpunctes unter 0° mit T , so erhält man für diese Salze in den Quotienten $\frac{T}{M}$ eine Reihe von Zahlen, welche um ein Mittel schwanken. Für andere Salze wie Chlorcalcium, Jodnatrium, welche ich im wasserfreien Zustande in Wasser gelöst habe, ergibt sich für die Werthe von $\frac{T}{M}$ eine Zahlenreihe, welche mit zunehmender Concentration wächst. Ich habe gezeigt, daß bei diesen Salzen ebenfalls eine Proportionalität zwischen Salzgehalt und Erniedrigung des Gefrierpunctes existirt, wenn man annimmt, daß diese Salze sich beim Auflösen zunächst mit einer bestimmten Menge Wasser verbinden und nun als wasserhaltige Salze erniedrigend auf den Gefrierpunct des übrigen Wassers einwirken. Die Erniedrigung des Gefrierpunctes ist proportional dem Gehalt an wasserhaltigem Salz von ganz bestimmter chemischer Zusammensetzung.

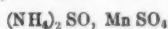
Hr. de Coppet leitet aus theoretischen Betrachtungen die Möglichkeit her, daß für gewisse Salze ein dritter Fall eintreten könne, daß nämlich die Werthe von $\frac{T}{M}$ eine *abnehmende* Reihe darstellen können und führt namentlich an, daß Versuche, welche er mit *übersättigten Lösungen* angestellt habe, für ein wachsendes M ein abnehmendes $\frac{T}{M}$ erkennen lassen. In wie weit dieses der Fall ist, läßt sich nicht beurtheilen, da Hr. de Coppet keine Versuchszahlen mittheilt; ich selbst habe früher einige Versuche über das Gefrieren übersättigter Lösungen angestellt und glaubte aus denselben, welche sich nur über ein sehr beschränktes Temperaturintervall erstrecken, den Schluß ziehen zu dürfen, daß auch bei den übersättigten Lösungen von Glaubersalz und Soda eine Proportionalität zwischen Erniedrigung des Gefrierpunctes und dem Gehalt an wasserfreiem Salz existire. Ich habe diese Versuche nicht

weiter verfolgt, da die sich nur auf wenige Grade erstreckende Temperaturerniedrigung kein sicheres Resultat erwarten liefs.

Zu derselben Klasse von Salzen rechnet Hr. de Coppet auch die Nitrate von Natrium und Ammonium, bei welchen ich in meiner früheren Mittheilung für $\frac{T}{M}$ eine Reihe erhalten hatte, die ich für constant hielt. Bei der Fortsetzung der Versuche über das Gefrieren des Wassers aus Salzlösungen, welche ich in der Absicht unternahm, um über die chemische Constitution der Lösungen Aufschluß zu erhalten, lernte ich schon vor fünf Jahren Salze kennen, welche ein solches abnehmendes $\frac{T}{M}$ in sehr auffallendem Mafse zeigten und ich erkannte dann in den früher von mir publicirten Zahlen für die beiden genannten Nitrate eine deutliche, wenn auch geringe Abnahme für $\frac{T}{M}$. Ich habe mit der Veröffentlichung dieser damals gefundenen Resultate gezögert, weil es mir bis jetzt unmöglich gewesen ist, eine befriedigende Erklärung für diese Erscheinung zu finden. Zu diesen Salzen, für welche bei wachsendem M sich ein abnehmendes $\frac{T}{M}$ ergibt, gehört vor allen salpetersaures Silberoxyd. Die Versuche wurden ganz in derselben Weise, wie ich dieses in der citirten Abhandlung ausführlich beschrieben habe, ausgeführt und ich bemerke nur noch, daß die folgende Versuchsreihe aus einzelnen Versuchen zusammengestellt ist, welche ich zu verschiedenen Zeiten ausgeführt habe. Das salpetersaure Silberoxyd wurde im krystallisirten und geschmolzenen Zustande angewandt, in einigen Fällen vor der Abwägung im Luftbade getrocknet, in andern wie es im Handel vorkommt gelöst. Zunächst theile ich die Versuchsergebnisse mit, welche ich mit den Lösungen einiger Doppelsalze erhalten habe. Diese wurden im krystallisirten Zustande, also mit Krystallwasser verbunden, in den unter M angegebenen Gewichtsmengen in 100 Theilen Wasser gelöst

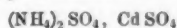
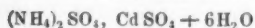
und für die betreffenden Lösungen die unter T angegebenen Gefrierpunkte erhalten. Die chemischen Formeln geben die Zusammensetzung des angewandten Salzes an, wobei stets das Verbindungsgewicht des $O = 16$ angenommen ist.

Schwefelsaures Manganoxydul-Ammon.



M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
6	-0°,80	-0°,133	4,28	-0°,80	-0°,184
10	-1°,30	-0°,130	7,04	-1°,30	-0°,184
16	-2°,05	-0°,128	11,08	-2°,05	-0°,185
20	-2°,55	-0°,127	13,72	-2°,55	-0°,186
24	-2°,90	-0°,121	16,30	-2°,90	-0°,178
30	-3°,55	-0°,118	20,05	-3°,55	-0°,177
34	-4°,00	-0°,117	22,51	-4°,00	-0°,179
Mittel					-0°,181

Schwefelsaures Cadmiumoxyd-Ammon.



M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
10	-1°,10	-0°,110	7,41	-1°,15	-0°,148
12	-1°,35	-0°,112	8,85	-1°,35	-0°,153
20	-2°,15	-0°,107	14,48	-2°,15	-0°,149
25	-2°,50	-0°,100	17,89	-2°,50	-0°,139
30	-3°,00	-0°,100	21,20	-3°,00	-0°,142
36	-3°,55	-0°,098	25,10	-3°,55	-0°,141
40	-3°,90	-0°,097	27,63	-3°,90	-0°,141
Mittel					-0°,145

Die in der dritten Columnne enthaltenen Quotienten $\frac{T}{M}$ lassen für beide Salze eine abnehmende Reihe mit aller Entschiedenheit erkennen. Es liegt hier die Vermuthung nahe, daß diese beiden mit Krystallwasser verbundenen Salze als wasserfreie Salze auf den Gefrierpunct des Lösungswassers einwirken. Berechnet man nach der früher ¹⁾ von mir entwickelten Formel:

1) Pogg. Ann. Bd. CXVI, S. 62.

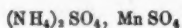
$$S = \frac{(A + 18r) 100 M}{100 M - 18r M}$$

in welcher A das Moleculargewicht der angewandten Verbindung, r die Anzahl der Wassermolecüle, mit welcher sich die in Wasser gelöste Verbindung bei der Auflösung vereinigt (hier würde $r = -6$ seyn), M die Menge (Grm.) des in 100 Theilen Wasser gelösten Salzes und S die Menge der in 100 Theilen Wasser gelösten Verbindung bezeichnet, für welche die Proportionalität stattfindet, so erhält man die in der 4. Columnne unter S stehenden Mengen des wasserfreien Salzes, welche in 100 Theilen Wasser gelöst sind. Man erkennt, daß die Quotienten $\frac{T}{S}$ um ein Mittel schwanken, daß also die durch diese Salze bewirkte Erniedrigung des Gefrierpunctes proportional ist dem Gehalt an wasserfreiem Salz. Das schwefelsaure Manganoxydulammon habe ich auch im wasserfreien Zustande angewandt und in der folgenden Tabelle sind unter M die Mengen des in 100 Theilen Wasser gelösten wasserfreien Salzes mitgetheilt. Die Quotienten $\frac{T}{M}$ zeigen die völlige Uebereinstimmung mit den oben berechneten Resultaten. Wir sind also zu der Annahme berechtigt, daß beim Auflösen der beiden krystallisirten Salze, das in denselben enthaltene Krystallwasser sich zu dem Lösungswasser addirt, und die Verbindungen als wasserfreie Salze in dem gesammten Wasser gelöst sind.

Von den mir bekannten einfachen Salzen müßte das krystallisirte schwefelsaure Natron in seinen Lösungen eine ähnliche Abnahme in den Quotienten $\frac{T}{M}$ erkennen lassen, da dasselbe als wasserfreies Salz erniedrigend auf den Gefrierpunct wirkt. Da sich die Versuche mit demselben jedoch wegen der Schwerlöslichkeit dieses Salzes in niedriger Temperatur nur bis $-1^{\circ},1\text{C.}$ erstrecken können, so lassen dieselben kein deutlich hervortretendes Resultat erwarten.

Schwefelsaures Manganoxydul-Ammon

wasserfreies.



M	T	$\frac{T}{M}$
6	$-1^{\circ},10$	$-0^{\circ},183$
10	$-1,85$	$-0,185$
14	$-2,50$	$-0,180$
16	$-2,90$	$-0,183$
18	$-3,25$	$-0,180$
20	$-3,55$	$-0,178$
22	$-4,00$	$-0,182$
Mittel		$-0^{\circ},182$

Wenn ich für die Abnahme der Quotienten $\frac{T}{M}$ der beiden genannten Salze eine befriedigende Erklärung geben kann, so ist dieses nicht der Fall für einige Verbindungen, von denen ich die Resultate der damit angestellten Versuche hier mittheile.

Salpetersaures Silberoxyd.

Essigsäure.

M	T	$\frac{T}{M}$
4	$-0^{\circ},70$	$-0^{\circ},175$
8	$-1,40$	$-0,175$
10	$-1,60$	$-0,160$
12	$-1,90$	$-0,158$
16	$-2,50$	$-0,156$
20	$-2,95$	$-0,147$
28	$-3,75$	$-0,134$
32	$-4,10$	$-0,128$
36	$-4,55$	$-0,126$
40	$-4,85$	$-0,121$
44	$-5,1$	$-0,116$
48	$-5,3$	$-0,110$
52	$-5,6$	$-0,108$

M	T	$\frac{T}{M}$
2	$-0^{\circ},65$	$-0^{\circ},325$
4	$-1,20$	$-0,300$
8	$-2,40$	$-0,300$
11	$-3,20$	$-0,291$
18	$-5,15$	$-0,286$
23	$-6,4$	$-0,278$
30	$-8,15$	$-0,271$
36	$-9,6$	$-0,266$
50	$-12,2$	$-0,244$
62	$-14,7$	$-0,237$

Die Mischungen der Essigsäure mit Wasser wurden hergestellt durch abgewogene Mengen der reinen Säure, deren Darstellung ich in diesen Ann. Bd. CXL, S. 415 beschrieben habe.

Salpetersaures Bleioxyd.

<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
8	—0°,80	—0°,100
10	—1,00	—0,100
16	—1,45	—0,090
20	—1,70	—0,085
24	—1,95	—0,081
28	—2,20	—0,078
30	—2,30	—0,077
32	—2,40	—0,075
34	—2,55	—0,075

Salpetersaures Natron.

<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
6	— 2°,20	—0°,366
8	— 2,85	—0,356
10	— 3,55	—0,355
12	— 4,25	—0,354
14	— 4,85	—0,347
16	— 5,55	—0,345
20	— 6,60	—0,330
22	— 7,20	—0,327
40	—12,30	—0,307

Salpetersaures Kali.

<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
4	—1°,10	—0°,275
6	—1,60	—0,270
8	—2,10	—0,263
10	—2,60	—0,260
12	—2,90	—0,242

Salpetersaures Ammon.

M	T	$\frac{T}{M}$
4	$-1^{\circ},55$	$-0^{\circ},387$
6	$-2,30$	$-0,383$
8	$-3,00$	$-0,375$
10	$-3,75$	$-0,375$
12	$-4,40$	$-0,366$
14	$-4,90$	$-0,350$
16	$-5,55$	$-0,347$
20	$-6,70$	$-0,335$

Rhodanammonium.

NH₄ CNS.

M	T	$\frac{T}{M}$
5	$-2^{\circ},12$	$-0^{\circ},430$
8	$-3,40$	$-0,425$
10	$-4,20$	$-0,420$
12	$-5,05$	$-0,421$
14	$-5,90$	$-0,421$
20	$-8,20$	$-0,410$
24	$-9,85$	$-0,410$
30	$-12,15$	$-0,405$
32	$-12,80$	$-0,400$

Die Abnahme der Quotienten tritt namentlich beim salpetersauren Silberoxyd und der Essigsäure in auffallender Weise hervor. Für die salpetersauren Salze des Natrons, Kalis und Ammons habe ich schon früher Versuche mitgetheilt, da sich dieselben aber über Lösungen von nur wenig verschiedener Concentration erstreckten, so liefs sich eine solche Abnahme der betreffenden Quotienten nicht deutlich erkennen und ich glaubte die geringe Abnahme, welche sich in den für diese Salze früher von mir mitgetheilten Quotienten zeigt, auf die unvermeidlichen Beobachtungsfehler schieben zu dürfen. Die von Hrn. de Coppet für die Abnahme der Quotienten $\frac{T}{M}$ gegebene Erklärung, daß diese Salze sich beim Auflösen mit einer be-

stimmten Menge Wasser verbinden und in diesem wasserhaltigen Zustande erniedrigend auf den Gefrierpunct des übrigen Lösungswassers einwirken, daß aber die Anzahl der Wassermoleculé, mit denen sich das Salz verbindet, mit zunehmender Concentration abnimmt, scheint mir höchst unwahrscheinlich, da es uns an jeder analogen Thatsache für eine solche beständig fortschreitende Zersetzung gebietet.

III. Im CXL. Bde. S. 415 dieser Annalen habe ich gezeigt, daß aus einem Gemisch von Eisessig mit wenig Wasser bei einer ganz bestimmten Temperatur sich nur Essigsäure in fester Form ausscheidet und daß diese Temperatur abhängt von der Menge Wasser, welche man zu 100 Theilen Säure gesetzt hat, so daß man in dem Erstarrungspuncte eines käuflichen Eisessigs ein Mittel hat, den Wassergehalt desselben zu bestimmen. Aus der dort mitgetheilten Tabelle geht unter Anderem hervor, daß aus einer Mischung von 100 Thl. Essigsäure mit 10 Thl. Wasser erstere bei $+4^{\circ},3$, aus einer Mischung von 100 Säure mit 24 Wasser, dieselbe bei $-7,4$ sich ausscheidet. Wir können diese Mischungen den gesättigten Salzlösungen vergleichen und es würden, wenn man sich der bei Salzlösungen gebräuchlichen Ausdrucksweise bedient, obige beiden Lösungen zu betrachten seyn als bestehend aus 100 Thl. Wasser, in welchen einmal 1000 Thl., das andere mal 416,6 Thl. Essigsäure gelöst sind. Eine bei $+4^{\circ},3$ resp. $-7^{\circ},4$ gesättigte Lösung von Essigsäure würde die obige Zusammensetzung haben. Wenn man die Resultate dieser Versuche mit den in obiger Tabelle enthaltenen Angaben über die Gefrierpuncte des Wassers aus Lösungen von Essigsäure zusammenstellt, so ergibt sich, daß es nur *ein* Gemisch aus Wasser und Essigsäure giebt, aus dem sich bei einer bestimmten Temperatur gleichzeitig Eis und feste Essigsäure ausscheidet, und es würde diese Temperatur als der Gefrierpunct der gesättigten Essigsäure anzusehen und dieselbe dem Gefrierpunct einer gesättigten Salzlösung analog seyn.

Hiernach erweist sich also die Behauptung des Hrn. C. Schultz, Pogg. Ann. Bd. CXXXVII, S. 251, daß jedes Gemisch von Essigsäure und Wasser bei einer bestimmten Temperatur als solches erstarre, als eine irrige.

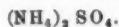
IV. In der folgenden Tabelle theile ich die Resultate einiger Versuche mit, welche ich über das Gefrieren des Wassers aus noch einigen anderen Salzlösungen angestellt habe.

Salpetersaurer Strontian.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
8	—1°,50	—0°,187
16	—3°,00	—0°,187
20	—3°,70	—0°,185
24	—4°,45	—0°,185
28	—5°,00	—0°,178
30	—5°,45	—0°,182
32	—5°,75	—0°,179
34	—6°,10	—0°,180
36	—6°,44	—0°,179
Mittel		—0°,184

Schwefelsaures Ammon.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
4	—1°,10	—0°,275
8	—2°,30	—0°,286
10	—2°,80	—0°,280
16	—4°,20	—0°,262
20	—5°,20	—0°,260
24	—6°,30	—0°,263
30	—7°,90	—0°,263
36	—9°,70	—0°,268
Mittel		—0°,269

Chromsaures Kali.



M	T	$\frac{T}{M}$
10	— 1°,95	—0°,195
20	— 3 ,80	—0 ,190
24	— 4 ,55	—0 ,190
30	— 5 ,70	—0 ,190
40	— 7 ,80	—0 ,195
50	—10 ,00	—0 ,200
Mittel		—0°,194

Rhodankalium.



M	T	$\frac{T}{M}$
5	—1°,60	—0°,320
10	—3 ,25	—0 ,325
15	—4 ,90	—0 ,321
20	—6 ,50	—0 ,325
25	—7 ,90	—0 ,318
30	—9 ,55	—0 ,318
Mittel		—0°,320

Es geht aus den Quotienten $\frac{T}{M}$ hervor, daß diese Salze ihre Wirkung als wasserfreie ausüben. Andere Salze habe ich mit Krystallwasser verbunden in Wasser gelöst und es zeigt sich, daß für diese die Erniedrigung des Gefrierpunctes proportional ist der angewandten Verbindung, deren Zusammensetzung durch die darüber stehende Formel ausgedrückt ist. Ich darf jedoch hier nicht unerwähnt lassen, daß die Versuche mit den Sulfaten wegen der engen Temperaturgränzen, über welche sich die Versuche wegen der Schwerlöslichkeit der Salze bei niedriger Temperatur nur erstrecken können, nicht den Grad der Zuverlässigkeit besitzen, wie dies bei andern Salzen der Fall ist. Bei den Lösungen einiger leichtlöslichen Salze tritt der genaueren Bestimmung ihres Gefrierpunctes eine sehr

erhebliche Schwierigkeit entgegen in der zähen, dickflüssigen Beschaffenheit, welche die Lösungen, besonders die concentrirten in niedriger Temperatur zeigen. Diese Lösungen lassen sich selbst in Berührung mit Eis mehre Grad unter ihren Gefrierpunct abkühlen und selbst wenn sich schon Eisflecke in denselben bilden, kann die Temperatur noch weiter erniedrigt werden. Tritt dann nach einer erheblichen Eisbildung ein Steigen der Temperatur ein, so geschieht dieses so langsam, daß sich während der Zeit so viel Eis gebildet hat, daß dadurch die Zusammensetzung des noch flüssigen Theiles der Lösung verändert ist. Besonders ist dieses bei den concentrirten Lösungen von Mangansulfat und andern ähnlichen Salzen der Fall.

Schwefelsaure Magnesia.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
10	—0°,70	—0°,070
20	—1°,35	—0°,067
24	—1°,65	—0°,069
30	—2°,15	—0°,071
36	—2°,60	—0°,072
40	—2°,80	—0°,070
50	—3°,75	—0°,075
Mittel		—0°,072

Schwefelsaures Nickeloxydul.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
14	—0°,80	—0°,057
16	—0°,90	—0°,056
22	—1°,20	—0°,054
30	—1°,60	—0°,053
36	—2°,05	—0°,057
40	—2°,25	—0°,056
46	—2°,55	—0°,055
Mittel		—0°,055

Schwefelsaures Zinkoxyd.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
10	—0°,60	—0°,060
14	—0°,80	—0°,057
20	—1°,10	—0°,055
30	—1°,70	—0°,057
40	—2°,15	—0°,054
50	—2°,80	—0°,056
60	—3°,65	—0°,060
70	—4°,35	—0°,062
80	—5°,11	—0°,063
Mittel		—0°,058

Schwefelsaures Kupferoxyd.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
10	—0°,65	—0°,065
12	—0°,85	—0°,070
15	—1°,00	—0°,066
16	—1°,05	—0°,065
20	—1°,30	—0°,065
24	—1°,55	—0°,064
25	—1°,60	—0°,065
28	—1°,80	—0°,064
Mittel		—0°,065

Bei den Versuchen mit Lösungen anderer Salze stellte es sich heraus, daß dieselben nicht in der angewandten Form ihre Wirkung ausüben, sondern, daß sie sich beim Auflösen mit einer bestimmten Anzahl von Wassermoleculen verbinden, und daß diese Verbindung dann erniedrigend auf den Gefrierpunct des übrigen Lösungswassers einwirkt. Im Folgenden sind die Versuchszahlen für einige Salze zusammengestellt. Mit Hülfe der früher entwickelten Formel, diese Ann. Bd. CXVI, S. 62.

$$r = \frac{100 A (Mt' - M't)}{18 MM' (t' - t)}$$

in welcher r und A die schon oben angegebene Bedeutung haben und M und M' zwei verschiedene Mengen des zur Lösung angewandten Salzes, t und t' die zugehörigen Gefrierpunkte bedeuten, läßt sich aus einer Reihe von Beobachtungen das r , d. h. die Anzahl der Wassermoleküle, mit welcher das Salz in der Lösung verbunden ist und erniedrigend auf den Gefrierpunkt des Lösungswassers wirkt, berechnen. Es sind in der vierten Columnne unter S die Mengen der in 100 Theilen Wasser gelösten wasserhaltigen Verbindung, für welche die oft erwähnte Proportionalität gilt, enthalten. Die chemische Formel dieser Verbindung steht über den drei letzten Columnen, während über den drei ersten Columnen die Formel des zur Lösung angewandten Salzes steht.

Chlorstrontium.

$\text{SrCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$			$\text{SrCl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
10	— 1°,75	— 0°,175	14,6	— 1°,75	— 0°,119
20	— 3°,75	— 0°,187	30,6	— 3°,75	— 0°,122
30	— 3°,85	— 0°,195	47,9	— 5°,85	— 0°,122
40	— 8°,10	— 0°,202	67,0	— 8°,10	— 0°,121
44	— 9°,00	— 0°,204	75,2	— 9°,00	— 0°,119
50	— 10°,55	— 0°,211	88,0	— 10°,55	— 0°,120
60	— 13°,00	— 0°,216	111,2	— 13°,00	— 0°,117
			Mittel — 0°,120		

Kobaltchlorür.

$\text{CoCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$			$\text{CoCl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
10	— 2°,05	— 0°,205	15,2	— 2°,05	— 0°,135
20	— 4°,50	— 0°,225	31,0	— 4°,50	— 0°,141
30	— 7°,35	— 0°,245	50,4	— 7°,35	— 0°,146
40	— 10°,35	— 0°,257	71,1	— 10°,35	— 0°,145
50	— 13°,8	— 0°,276	94,0	— 13°,8	— 0°,146
60	— 16°,8	— 0°,280	119,9	— 16°,8	— 0°,140
			Mittel — 0°,142		

Nickelchlorür.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
10	— 2°,00	—0°,200
20	— 4°,40	—0°,220
30	— 7°,25	—0°,241
36	— 8°,85	—0°,246
50	—13°,90	—0°,278
60	—17°,10	—0°,291

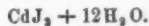


<i>S</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{S}$
15,2	— 2°,00	—0°,132
31,9	— 4°,40	—0°,137
50,5	— 7°,25	—0°,143
62,7	— 8°,85	—0°,141
94,4	—13°,90	—0°,145
120,2	—17°,10	—0°,142
Mittel		—0°,140

Jodcadmium.

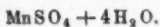


<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
10	—0°,50	—0°,050
20	—1°,10	—0°,055
36	—2°,20	—0°,061
46	—3°,05	—0°,066
50	—3°,40	—0°,068



<i>S</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{S}$
16,9	—0°,50	—0°,029
36,1	—1°,10	—0°,030
72,6	—2°,20	—0°,030
100,4	—3°,05	—0°,030
112,7	—3°,40	—0°,030
Mittel		—0°,030

Schwefelsaures Manganoxydul.



<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$
10	—0°,70	—0°,070
16	—1°,20	—0°,075
20	—1°,45	—0°,072
24	—1°,75	—0°,073
30	—2°,35	—0°,078
40	—3°,35	—0°,084
50	—4°,45	—0°,089
56	—5°,20	—0°,093
60	—6°,90	—0°,100
70	—7°,50	—0°,108



<i>S</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{S}$
17,58	—0°,70	—0°,039
29,37	—1°,20	—0°,040
37,77	—1°,45	—0°,038
46,70	—1°,75	—0°,035
60,35	—2°,35	—0°,038
88,69	—3°,35	—0°,038
121,4	—4°,45	—0°,037
144,2	—5°,20	—0°,036
161,0	—6°,00	—0°,037
210,0	—7°,60	—0°,036
Mittel		—0°,037

Essigsäures Natron.

$\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}.$			$\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + 5\text{H}_2\text{O}.$		
<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$	<i>S</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{S}$
6	— 1°,55	—0°,258	7,7	— 1°,55	—0°,201
8	— 2,10	—0,261	10,3	— 2,10	—0,206
10	— 2,60	—0,260	12,9	— 2,60	—0,201
14	— 3,75	—0,268	18,4	— 3,75	—0,203
20	— 5,45	—0,272	26,7	— 5,45	—0,204
24	— 6,60	—0,275	32,4	— 6,60	—0,203
30	— 8,30	—0,277	41,2	— 8,30	—0,201
36	—10,20	—0,283	50,3	—10,20	—0,202
40	—11,20	—0,280	56,6	—11,20	—0,198
42	—12,00	—0,285	59,7	—12,00	—0,201
			Mittel		—0°,202

Salpetersaures Nickeloxydul.

$\text{NiN}_2\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O}.$			$\text{NiN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}.$		
<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$	<i>S</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{S}$
10	—1°,60	—0°,160	14,2	—1°,60	—0°,112
20	—3,40	—0,172	28,8	—3,40	—0,118
30	—5,35	—0,178	46,3	—5,35	—0,113
40	—7,40	—0,185	64,4	—7,40	—0,115
			Mittel		—0°,114

Von einigen anderen Salzen, wie salpetersaurer Magnesia, salpetersaurem Zinkoxyd habe ich mir dadurch Lösungen von bekanntem Gehalt hergestellt, daß ich eine bestimmte Menge Säure von bekanntem Gehalt mit einem kleinen Ueberschuß des betreffenden Metalloxydes tagelang unter mäßigem Erwärmen und öfterem Umschütteln in verschlossenen Gefäßen stehen ließ und dadurch die Säure sättigte. Nach dem Abfiltriren des ungelösten Oxydes wurde der Gefrierpunct der Lösungen ermittelt. Die folgende Tabelle enthält auch die Versuche über das Gefrieren des Wassers aus der angewandten Salpetersäure, und unter *M* sind die in 100 Theilen Wasser enthaltenen Mengen des Anhydrites dieser Säure angegeben.

Salpetersäure.

Anhydrit $N_2 O_5$			$N_2 O_5 + 10 H_2 O$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
3,87	— 2°,50	— 0°,656	11,0	— 2°,50	— 0°,227
4,86	— 3°,35	— 0°,689	14,2	— 3°,35	— 0°,235
7,15	— 5°,05	— 0°,706	21,8	— 5°,05	— 0°,231
10,10	— 7°,55	— 0°,747	32,4	— 7°,55	— 0°,233
12,85	— 10°,10	— 0°,789	43,8	— 10°,10	— 0°,230
			Mittel		— 0°,231

Salpetersaure Magnesia.

$Mg N_2 O_6$			$Mg N_2 O_6 + 12 H_2 O$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
5,29	— 1°,85	— 0°,358	13,8	— 1°,85	— 0°,134
6,66	— 2°,40	— 0°,360	18,1	— 2°,40	— 0°,132
9,90	— 3°,70	— 0°,343	28,4	— 3°,70	— 0°,130
13,80	— 5°,70	— 0°,414	42,5	— 5°,70	— 0°,134
17,61	— 7°,75	— 0°,436	58,2	— 5°,75	— 0°,132
			Mittel		— 0°,132

Salpetersaures Zinkoxyd.

$Zn N_2 O_6$			$Zn N_2 O_6 + 12 H_2 O$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
6,79	— 1°,80	— 0°,265	16,1	— 1°,80	— 0°,112
8,52	— 2°,35	— 0°,275	20,2	— 2°,35	— 0°,116
12,60	— 3°,55	— 0°,281	31,7	— 3°,55	— 0°,112
17,67	— 5°,35	— 0°,303	47,5	— 5°,35	— 0°,113
22,57	— 7°,35	— 0°,325	65,1	— 7°,35	— 0°,112
			Mittel		— 0°,113

Es ist auffallend, wie sehr der Einfluß der Salpetersäure auf das Gefrieren des Wassers dadurch vermindert wird, daß man dieselbe mit einem Oxyd neutralisirt. Aus der Salpetersäure, welche auf 100 Thl. Wasser 12,8 Thl. Anhydrit enthält, gefriert das Wasser bei — 10°,1, während der Gefrierpunct auf — 7°,35 sinkt, sobald man die Säure mit Zinkoxyd neutralisirt. Die folgenden Salz-

lösungen sind in derselben Weise wie die vorigen, aber mit Lösungen von Salpetersäure von anderem Gehalt hergestellt.

Salpetersaures Manganoxydul.

MnN_2O_6			$\text{MnN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
3,57	$-0^\circ,95$	$-0^\circ,266$	8,2	$-0^\circ,95$	$-0^\circ,115$
8,30	$-2^\circ,40$	$-0^\circ,289$	20,3	$-2^\circ,40$	$-0^\circ,118$
14,31	$-4^\circ,40$	$-0^\circ,308$	37,9	$-4^\circ,40$	$-0^\circ,115$
18,60	$-6^\circ,35$	$-0^\circ,341$	52,7	$-6^\circ,35$	$-0^\circ,120$
26,01	$-9^\circ,45$	$-0^\circ,363$	83,1	$-9^\circ,45$	$-0^\circ,114$
			Mittel $-0^\circ,116$		

Salpetersaures Kupferoxyd.

CuN_2O_6			$\text{CuN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
3,72	$-0^\circ,90$	$-0^\circ,242$	8,3	$-0^\circ,90$	$-0^\circ,108$
8,65	$-2^\circ,35$	$-0^\circ,271$	20,7	$-2^\circ,35$	$-0^\circ,113$
14,91	$-4^\circ,25$	$-0^\circ,285$	38,6	$-4^\circ,25$	$-0^\circ,109$
19,37	$-6^\circ,20$	$-0^\circ,320$	53,6	$-6^\circ,20$	$-0^\circ,115$
27,12	$-9^\circ,30$	$-0^\circ,343$	84,9	$-9^\circ,30$	$-0^\circ,108$
			Mittel $-0^\circ,111$		

Salpetersaures Cadmiumoxyd.

CuN_2O_6			$\text{CuN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$		
M	T	$\frac{T}{M}$	S	T	$\frac{T}{S}$
4,68	$-0^\circ,90$	$-0^\circ,192$	9,36	$-0^\circ,90$	$-0^\circ,096$
10,90	$-2^\circ,30$	$-0^\circ,211$	23,20	$-2^\circ,30$	$-0^\circ,099$
18,80	$-4^\circ,20$	$-0^\circ,223$	43,51	$-4^\circ,20$	$-0^\circ,096$
24,41	$-5^\circ,90$	$-0^\circ,242$	60,20	$-5^\circ,90$	$-0^\circ,096$
34,18	$-8^\circ,65$	$-0^\circ,253$	95,22	$-8^\circ,65$	$-0^\circ,090$
			Mittel $-0^\circ,095$		

V. Aus den früher mitgetheilten Versuchen über die Gefrierpunkte der Lösungen von Kochsalz und Kupferchlorid habe ich den Schluß gezogen, daß die Concentration und die Temperatur auf die Constitution der Lösungen einen Einfluß ausübt. Ich habe seitdem ein anderes Salz kennen gelernt, welches sich in ähnlicher Weise wie Kochsalz verhält. Es ist dieses Chlorbarium. Aus

den von mir früher mitgetheilten Versuchen über die Lösungen dieses Salzes ging hervor, daß dasselbe als $\text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ erniedrigend auf den Gefrierpunct des Lösungswassers wirkt. Setzt man diese Versuche mit Lösungen von höherer Concentration, als die früher angewandten fort, so findet wie bei den Kochsalzlösungen von einer bestimmten Temperatur an eine entschiedene Zunahme in den Quotienten $\frac{T}{M}$ statt. Nimmt man aber an, daß in den Lösungen, welche mehr als 24 Theile krystallisirtes Chlorbarium auf 100 Theile Wasser enthalten, ein Salz von der Zusammensetzung $\text{BaCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ gelöst sey, so findet wieder eine Proportionalität zwischen dem Gehalt der Lösung an dieser Verbindung und der Erniedrigung des Gefrierpunctes statt, wie dieses aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

Chlorbarium.

$\text{Ba Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$			$\text{Ba Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$		
<i>M</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{M}$	<i>S</i>	<i>T</i>	$\frac{T}{S}$
4	−0°,75	−0°,188			
6	−1°,15	−0°,191			
8	−1°,50	−0°,189			
10	−1°,90	−0°,190			
12	−2°,3	−0°,191			
14	−2°,65	−0°,188			
16	−3°,1	−0°,193			
18	−3°,4	−0°,188			
20	−3°,95	−0°,197			
21	−4°,20	−0°,200			
22	−4°,50	−0°,204			
24	−5°,00	−0°,208	33,45	−5°,00	−0°,149
25	−5°,30	−0°,212	34,95	−5°,30	−0°,151
28	−5°,90	−0°,217	39,61	−5°,90	−0°,149
30	−6°,45	−0°,217	42,62	−6°,45	−0°,151
32	−6°,75	−0°,211	45,76	−6°,75	−0°,147
34	−7°,30	−0°,215	48,99	−7°,30	−0°,149
35	−7°,70	−0°,220	50,54	−7°,70	−0°,152
36	−8°,00	−0°,222	52,17	−8°,00	−0°,153
38	−8°,45	−0°,223	55,43	−8°,45	−0°,152
			Mittel		−0°,150

Die Quotienten $\frac{T}{M}$ zeigen bis etwa zu der Lösung von 20 Proc. eine befriedigende Constanz, nehmen von da an aber beständig zu. Dagegen stimmen die Quotienten $\frac{T}{M}$, welche unter der Annahme, daß in den Lösungen ein Salz mit $6\text{H}_2\text{O}$ enthalten sey, wieder gut überein.

VI. Unter der Voraussetzung, daß man mit S die Menge der Verbindung, welche in 100 Gramm Wasser gelöst ist und auf den Gefrierpunct desselben erniedrigend einwirkt, mit E die durch dieselbe bewirkte Erniedrigung des Gefrierpunctes unter 0° bezeichnet, sind in der folgenden Tabelle die Beziehungen zwischen E und S für die von mir untersuchten Salze zusammengestellt. Die chemische Formel hinter dem Namen giebt die Zusammensetzung der in der Lösung enthaltenen wirksamen Verbindung an.

Ammoniak	$(\text{NH}_4)_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,423 S$
Aetzkali	$\text{K}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,399 S$
Aetznatron	$\text{Na}_2\text{O} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,509 S$
Chlorwasserstoffsäure	$\text{HCl} + 6\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,251 S$
Chlornatrium (bis zu 16 Proc.)	Na Cl	$E = -0,600 S$
Chlornatrium (von 16 Proc. an)	$\text{Na Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,341 S$
Chlorkalium	K Cl	$E = -0,446 S$
Chlorammonium	$\text{NH}_4\text{ Cl}$	$E = -0,635 S$
Chlorcalcium	$\text{Ca Cl} + 6\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,227 S$
Chlorbarium (bis 24 Proc.)	$\text{Ba Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,190 S$
Chlorbarium (von 24 Proc. an)	$\text{Ba Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,150 S$
Chlorstrontium	$\text{Sr Cl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,120 S$
Manganchlorür	$\text{Mn Cl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,138 S$
Kobaltchlorür	$\text{Co Cl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,142 S$
Nickelchlorür	$\text{Ni Cl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,140 S$
Kupferchlorid (von 20 Proc. an)	$\text{Cu Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,283 S$

Kupferchlorid (bis 20 Proc.)	$\text{CuCl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,127\text{ S}$
Ammonium-Kupfer- chlorid	$\text{CuCl}_2, 2\text{NH}_4\text{Cl} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,373\text{ S}$
Jodwasserstoffsäure	$\text{HJ} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,157\text{ S}$
Jodkalium	KJ	$E = -0,212\text{ S}$
Jodnatrium	$\text{NaJ} + 4\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,152\text{ S}$
Jodcadmium	$\text{CdJ}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,030\text{ S}$
Bromkalium	KBr	$E = -0,292\text{ S}$
Bromnatrium	$\text{NaBr} + 4\text{H}_2\text{O}$	$F = -0,189\text{ S}$
Salpetersäure	$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_6 + 9\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,231\text{ S}$
Salpetersaurer Kalk	CaN_2O_6	$E = -0,277\text{ S}$
Salpeters. Strontian	SrN_2O_6	$E = -0,184\text{ S}$
Salpeters. Magnesia	$\text{MgN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,132\text{ S}$
Salpeters. Zinkoxyd	$\text{ZnN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,113\text{ S}$
Salpeters. Mangan- oxydul	$\text{MnN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,116\text{ S}$
Salpetersaures Cad- miumoxyd	$\text{CdN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,095\text{ S}$
Salpetersaures Kup- feroxyd	$\text{CuN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,111\text{ S}$
Salpetersaures Nickel- oxydul	$\text{NiN}_2\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,114\text{ S}$
Schwefelsäure	$\text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,129\text{ S}$
Schwefelsaures Kali	K_2SO_4	$E = -0,201\text{ S}$
Schwefels. Natron	Na_2SO_4	$E = -0,297\text{ S}$
Schwefels. Ammon	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$E = -0,269\text{ S}$
Schwefels. Magnesia	$\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,072\text{ S}$
Schwefels. Zinkoxyd	$\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,058\text{ S}$
Schwefels. Nickel- oxydul	$\text{NiSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,055\text{ S}$
Schwefelsaures Kupfer- oxyd	$\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,065\text{ S}$
Schwefelsaures Mangan- oxydul	$\text{MnSO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,037\text{ S}$
Schwefels. Mangan- oxydul Ammon	$\text{MnSO}_4, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$E = -0,181\text{ S}$

Schwefels. Cadmium-

oxyd Ammon	$\text{CdSO}_4, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$E = -0,145 S$
Chromsaures Kali	K_2CrO_4	$E = -0,194 S$
Essigsaures Natron	$\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$	$E = -0,202 S$
Kohlensaures Kali	K_2CO_3	$E = -0,317 S$
Rhodankalium	KCNS	$E = -0,320 S$

Für die übrigen von mir untersuchten Salze, wie salpetersaures Silberoxyd und andere läßt sich eine solche Beziehung zwischen E und S nicht angeben, da die Quotienten $\frac{T}{S}$ eine abnehmende Reihe bilden.

In den mitgetheilten Versuchen glaube ich den Beweis zu erblicken, daß das in den Lösungen enthaltene Wasser eine doppelte Rolle spielen kann: daß es bei einigen Verbindungen als einfaches Lösungsmittel dient, bei andern aber zu einem Theil in näherer chemischer Verbindung mit dem gelösten Körper sich befindet, während ein anderer Theil diese Verbindung in Lösung hält. Ich hege die Hoffnung, daß es mir gelingen wird, noch andere Be-weise für diese Auffassung der Natur der Lösungen beibringen zu können.

Berlin, im Februar 1872.

VI. Ueber die Temperaturerhöhung abgefeuerter bleierner Geschosse und Schmelzung derselben durch Aufschlagen auf Eisen- und Steinplatten; von J. Bodyński.

Wenn ich nun zum zweiten Male in dieser Angelegenheit das Wort ergreife, so geschieht es zunächst darum, weil Hr. Hagenbach ein von mir begangenes Versehen ¹⁾ soweit ausnutzt, daß er hieraus die Folgerung zieht: es

1) Diese Ann. Bd. 141, S. 595.

bleibe doch das Wesentliche der am Ende seiner Notiz ¹⁾ hingestellten Behauptungen stehen ²⁾.

Andererseits habe ich seitdem selbst die Sache näher untersucht und führe in dem folgenden einige hiebei beobachtete Thatsachen an. Vor Allem sey es mir aber vergönnt einige Worte Tyndall's über denselben Gegenstand, welche der Ansicht Hagenbach's ebenfalls widersprechen, hier anzuführen: 1080° F. würde die Zunahme der Temperatur repräsentiren, wenn die Kugel bei einer Geschwindigkeit von 1338 Fufs in der Secunde die Scheibe träfe, und die ganze Wärme in der Kugel selbst vereinigt bliebe. Diese Wärmemenge wäre jedoch *mehr als hinreichend um das Blei zu schmelzen*; in Wirklichkeit bleibt jedoch *nur ein Theil der Wärme in der Kugel* zurück, indem die Gesammtmenge derselben *zwischen ihr und der Scheibe* sich vertheilt ³⁾.

Allerdings ist die Geschwindigkeit der Kugel bei H. eine viel geringere, jedoch setzt Hagenbach später selbst hinzu, daß dieselbe wohl besser zu 350 als zu 320 Meter anzunehmen wäre, und dann wird auch der Unterschied zwischen ihr und der 1338 engl. Fufs noch kleiner.

Aber selbst nach den Prämissen, die Hr. H. selbst aufstellt, würde die Geschwindigkeit von 350 Metern eine Wärmemenge von 0,58 Wärmeeinheiten geben, und da nach allen von H. gemachten Voraussetzungen

$$m(235 \times 0,031 + 5,37) = 0,59$$

ist, so erhält man hieraus das Gewicht des geschmolzenen Bleis

$$m = 0,0466 \text{ Kilogramm} = 46,6 \text{ Gramm.}$$

Das Geschofs Hagenbach's wiegt aber im Ganzen *nur 40 Gramm*; hiervon werden *nur 27 Gramm geschmolzen*. Woher also die Behauptungen, daß hier bei Weitem die meiste Wärme zur Erwärmung und Schmelzung des Bleis verwendet wird? —

1) Diese Ann. Bd. 140, S. 486.

2) Diese Ann. Bd. 143, S. 153.

3) Die Wärme etc. Deutsch von Helmholtz und Wiedemann S. 56.

Ueberdies bin ich in der Lage eine andere wichtige Voraussetzung Hagenbach's bedeutend zu modifiziren. Es wird nämlich die Temperatur der Kugel, im Augenblicke als sie den Gewehrlauf verläßt, zu 100°C. angenommen. Warum? — die Frage lassen wir, wie es auch Hr. H. thut, unbeantwortet. Nun wurde aber vielfach beobachtet, daß eine Kugel, wenn sie angefettet ist, in der Luft eine deutliche Spur in Form eines dünnen Rauchfadens hinter sich zurückläßt. Bei den im verflossenen Sommer angestellten Schießübungen (des hier garnisonirenden 17. Jägerbataillons, welches mit Werndlgewehren versehen ist) konnte ich oft bei Windstille und günstiger Beleuchtung die Flugbahn des Geschosses, noch einige Secunden nach dem Schusse, in der Luft sehen. Dasselbe ist auch von Anderen beobachtet worden. Dieser Umstand deutet offenbar darauf hin, daß der Talg, welcher der Kugel anhaftet, so weit erhitzt wird, daß er nicht nur schmilzt, sondern sich auch zersetzt. Die trockene Destillation der festen Fette tritt aber bei circa. 300° ein. Berücksichtigt man noch den Umstand, daß die Kugel in ihrem weiteren Fluge sich durch Reibung in der Luft nur noch stärker erhitzt, so wird man gewiß mit vollem Rechte 300°C. als *Minimum ihrer Temperatur, noch bevor sie die Scheibe trifft*, annehmen dürfen. Ferner ist nichts natürlicher als die Annahme, daß diese Minimaltemperatur so ziemlich bei den Geschossen aller Militairgewehre eintreten werde. Es fehlen somit der Kugel, bevor sie die Scheibe trifft, höchstens noch 35° bis zur Schmelztemperatur. Alsdann hat man aber

$$m(35 \times 0,031 + 5,37) = 0,59$$

und hieraus

$$m = 0,0914 \text{ Kilogramm} = 91,4 \text{ Gramm}$$

also *mehr als das Dreifache* der von Hagenbach gefundenen Menge. —

Nachdem sich also die Sache durchaus nicht so einfach erklären läßt, wie es Hr. Hagenbach gethan zu

haben meint, wäre hier vielmehr folgende Frage zu beantworten: Kann in einer so kurzen Zeit ein solches Wärmequantum durch Leitung verloren gehen, daß hiedurch die Temperatur der Kugel p erheblich vermindert wird, und in welchem Maaße ist hiebei noch anderen Umständen Rechnung zu tragen?

Einige Versuche, die ich zu dem Behufe angestellt habe, ergeben ein zum Theil zufriedenstellendes Resultat. Es wurde nämlich ein Gewehr gegen eine *Steinplatte* mehrmals abgefeuert, und die Splitter, die vorgefunden wurden, hatten alle die Gestalt von *erstarrten Tropfen*, ein Zeichen, daß *alles Blei geschmolzen* wurde. Nun wurde die Steinplatte durch eine *Eisenplatte* ersetzt, und man fand unter den Bleisplittern auch solche, die wie Drehspäne aussahen, folglich *nicht geschmolzen* blieben. Ob dies nun blos der größeren Leitungsfähigkeit des Eisens zuzuschreiben sey, bleibt vorläufig unentschieden, denn die Eisenplatte, die mir zur Verfügung stand, hatte nicht die zu solchen Versuchen erforderliche Dicke und zeigte an den Stellen, wo die Kugeln aufschlugen, deutliche Vertiefungen, in Folge dessen ebenfalls ein entsprechendes Wärmequantum in Abzug zu bringen wäre. Schliesslich ist auch der Umstand (den auch Hr. H. im Nachtrage anführt) nicht außer Acht zu lassen, daß die Bleisplitter sehr heftig nach allen Seiten von der Scheibe abprallen, und die lebendige Kraft, welche dem zufolge nicht in Wärme umgesetzt wird, kann offenbar ebenfalls nicht unberücksichtigt bleiben.

Stanisławów, im December 1871.

VII. Ueber die Ausdehnungswärme fester Körper; von H. Buff.

Die Volumsvergrößerung eines festen Körpers durch Erwärmung hat die größte Aehnlichkeit mit einer Dehnung durch spannende Gewichte. So entsteht die Frage nach der GröÙe des Drucks oder Zugs, welchen die Wärme bei diesem Vorgange auf die Flächeneinheit ausübt. Diese Frage läßt sich beantworten, wenn neben dem Ausdehnungscoefficienten eines Stoffs zugleich auch sein Dehnungsquotient, beide Werthe auf die Volumeinheit bezogen, gegeben ist.

Nun ist zwar der Dehnungsquotient nach der Längenrichtung von sehr vielen Körpern bekannt. Allein die räumliche Dehnung oder Zusammendrückung ist bis jetzt nur wenig untersucht worden. Indessen hat Wertheim ¹⁾ nachgewiesen oder doch sehr wahrscheinlich gemacht, daß bei homogenen Körpern die Dehnungs- oder Verdichtungsquotienten für die lineare und cubische Dehnung wie Verdichtung einander gleich sind. Auch hat er gezeigt, daß einige gelegentliche Versuche von Regnault ²⁾ über die Verdichtbarkeit des Kupfers, Messings und Glases zu Ergebnissen geführt haben, welche mit jener Annahme gut übereinstimmen.

Für die Richtigkeit des Wertheim'schen Gesetzes spricht überdies ein Wahrscheinlichkeitsgrund. Denn wären die beiden Dehnungsquotienten, der eine bezogen auf die lineare Richtung, der andere bezogen auf den Raum, abweichend von einander, so müßte dasselbe auch für die entsprechenden Elasticitätscoefficienten der Fall seyn, und dann sollte man denken, daß die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in einem Stabe mit derjenigen in einer

1) Pogg. Ann. Bd. 74, S. 150.

2) *Relation des expériences etc. par M. V. Regnault. Paris 1847, p. 442.*

Kugel aus demselben nach allen Richtungen ganz gleichartigen Stoffe nicht übereinstimmen könnte.

Nehmen wir demnach an, daß der lineare und der räumliche Dehnungsquotient einander gleich sind, so ist Beispielsweise der räumliche Dehnungsquotient des Eisens, bezogen auf das Millimeter als Längeneinheit $\alpha = 0,0000481$. Hieraus folgt, daß ein Eisenwürfel von 1 CC. Größe, der nach den drei Dimensionen und zwar je nach zwei einander gegenüberstehenden Seitenflächen durch eine Kraft von 100 Kilo (je ein Kilo auf das Quadratmillimeter) gespannt wird, seinen Rauminhalt um 0,0000481 Cubikcentimeter vergrößern muß.

Der räumliche Ausdehnungscoefficient des Eisens zwischen 0° bis 100° beträgt für 1°C. $\beta = 0,0000350$. Ein Cubikcentimeter Eisen bei 0° genommen, erweitert demnach sein Volum, für 1° Erwärmung um 0°C. 0,0000350. Um dieselbe Volumsvergrößerung, welche eine Spannung von je 100 Kilo nach den drei Dimensionen des Würfels bewirkt, durch Erwärmung hervorzubringen, würde hiernach eine Temperaturerhöhung von $\frac{\alpha}{\beta} = 1,374$ erforderlich seyn.

Die mechanische Arbeit, welche die Wärme bei dieser Temperaturerhöhung des Eisenwürfels bis zu $1,374$ ausübt, entspricht einem Effecte von 100 Kilo 0,0000481 Centimeter hoch, oder was dasselbe sagt: von 4,81 Grmm-Centimeter. Denn da jede der drei Würfelseiten während der Ausdehnung um $\frac{0,0000481}{3}$ Centimeter vorrückt, so ist dieß bezüglich der Volumsvergrößerung gleichbedeutend mit einem Vorwärtsschreiten von nur einer Seitenfläche um 0,0000481 Centimeter.

Man erhält einen Ausdruck für die Wärmemenge, welche ein CC. Eisen aufnehmen muß, um diese Arbeit verrichten zu können, wenn man sein Gewicht in Grammen $\delta = 7,757$ mit seiner spec. Wärme $s = 0,1098$ multiplicirt, und das so erhaltene Product wieder mit dem

Quotienten $\frac{\alpha}{\beta} = 1,374$ multiplicirt. Dabei wird als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge gesetzt, die 1 Grm. Wasser aufnehmen muß, um seine Temperatur von 0° auf 1° zu erhöhen.

Die so berechnete Wärmemenge $\frac{\delta s \alpha}{\beta} = 1,170$ ist zwar nothwendig, um einer Eisenmasse von 1 CC. Rauminhalt die zu ihrer Ausdehnung in dem oben angegebenen Betrage erforderliche Spannkraft ertheilen zu können; zur Ausdehnung selbst, oder zu der Erzeugung des vorher bestimmten Arbeitswerthes wird jedoch nur ein sehr kleiner Theil davon wirklich verbraucht oder latent gemacht.

Setzen wir in runder Zahl den Arbeitseffect der angenommenen Wärmeeinheit gleich $42000^{\text{grm.-cm.}}$, so beträgt die Arbeit von 1,170 W.-E. $49140^{\text{grm.-cm.}}$. Die wirkliche Arbeit der Wärme in dem sich ausdehnenden Eisenwürfel beschränkt sich aber, wie vorher festgestellt wurde, auf $4,81^{\text{grm.-cm.}}$. Die gesammte Wärmeaufnahme verhält sich also zu dem für die Ausdehnung des Eisenwürfels verwendeten Antheil wie 49140 zu 4,81, oder auch wie 10000 zu 0,98.

Wenn es nur darauf ankommt dieses Verhältniß zu gewinnen, dessen Kenntniß zur Beantwortung verschiedener Fragen der theoretischen Physik ausreichend ist, so bedarf es keiner näheren Auskunft über die Beschaffenheit des Dehnungsquotienten α , weil derselbe als gemeinschaftlicher Factor im Zähler und Nenner des Verhältnisses doch wieder verschwindet.

In der That wurde gefunden $49140 = 42000 \frac{\delta s \alpha}{\beta}$, und es ergab sich $4,81 = 100.1000 \alpha$. Es ist folglich

$$\frac{4,81}{49140} = \frac{\lambda}{10000} = \frac{10000 \alpha \beta}{42000 \delta s \alpha} = \frac{\beta}{0,42 \delta s},$$

und endlich die in Arbeit aufgegangene Wärmemenge:

$$\lambda = \frac{10000 \beta}{0,42 \delta s}.$$

Die an dem Beispiel des Eisens erörterte Rechnung, in

derselben Weise noch für einige andere Körper durchgeführt, leitete zu den in der letzten Spalte der folgenden Tabelle enthaltenen Zahlenwerthen, deren Geltung streng genommen allerdings nicht über die gewöhnlich vorkommenden Temperaturen hinausgeht.

	α	β	δ	s	λ
Eisen	0,0000481	0,0000350	7,757	0,1098	0,980
Kupfer	0,0000951	0,0000515	8,936	0,0949	1,446
Silber	0,0001401	0,0000573	10,301	0,0577	2,378
Gold	0,0001791	0,0000466	18,035	0,0324	1,899
Platin	0,0000628	0,0000265	21,166	0,0324	0,920
Blei	0,0005634	0,0000854	11,165	0,0314	5,800
Glas	0,0001451	0,0000262	2,446	0,1770	1,441
Wasser bei 16°	0,0045854	0,0001600	0,999	1,0000	3,810.

Die Zahlen unter λ gaben die durch den Verbrauch latent gewordene Wärme in Zehntausendtel der ganzen Wärmeaufnahme. Dieser Antheil beträgt, wie ersichtlich, nicht nur bei den verschiedenen festen Körpern, sondern auch bei dem Wasser nur einen sehr kleinen Bruchtheil des gesammten Wärmeverbrauches. Hieraus erklärt es sich, warum es bisher nicht gelingen konnte, die Temperatur eines festen Körpers durch Verdichtung zu erhöhen. Auch versteht man den geringen Einfluß der gebundenen Dehnungswärme auf die Größe der spec. Wärme der Atome fester Körper.

Gießen, im März 1872.

VIII. *Bemerkungen über das Erdbeben
am 6. März 1872; von J. Roth.*

Die Zahl der Erderschütterungen, welche nach gut beglaubigten Nachrichten weithin im norddeutschen Flachlande empfunden wurden, ist nur gering. Man schreibt wohl mit Recht der Diluvialdecke einen gewissen Schutz gegen Erdstöße zu. Die Wirkungen gehen völlig verloren und werden an der Oberfläche nicht mehr sichtbar in den locker über einander geschütteten Gebirgsarten. Zu der Annahme, daß in den festen, unter der Diluvialdecke verborgenen Gesteinen Erdstöße nicht ihren Ursprung nehmen oder sich daselbst verbreiten, liegt gar kein Grund vor. Die dort entstehenden Erderschütterungen mögen sich, wenn nicht in dem überliegenden Diluvium empfunden, an andern Stellen manifestiren. In den seltenen Fällen, wo das norddeutsche Diluvium in Mitschwingungen versetzt wird, scheint der Ausgangspunkt der Schwingungen viel häufiger südlich zu liegen als im Norden, wie denn überhaupt die skandinavische Halbinsel spärlicher erschüttert wird als Mitteldeutschland. In dem Theile des nordischen Diluviums, welcher den mitteldeutschen Gebirgen näher liegt, sind Erderschütterungen häufiger als in dem übrigen Gebiet. Breslau schwingt mit den Sudeten, Karpathen, seltner mit dem Riesengebirge, Leipzig mit dem Erzgebirge, Halle mit dem Thüringer Wald. Man darf jedoch nicht voraussetzen, daß weithin im norddeutschen Diluvium gefühlte Erdstöße in den nördlich oder südlich gelegenen Gegenden große Verheerungen anrichten; nicht immer steht die Verbreitung im geraden Verhältniß zu der Stärke des Stoßes. Diese Bemerkung gilt auch für die am 6. März 1872 in einem großen Gebiet empfundene Erschütterung. Das Schüttergebiet ist nach den bis jetzt vorliegenden Nachrichten durch folgende Städte begrenzt: Breslau,

Glog
gart.
Prag
Orte
nom
richt
Stoß
bena
Ost,
WS
ses.
sich
Zeit
Nac
zung
grap
den
Che

Lei
Eg
das
beg
SW

ten
tig
un
sic
un
ke
ge
ba
de
ein
1

Glogau, Berlin ¹⁾, Hannover, Gießen, Wiesbaden, Stuttgart, Hechingen, Augsburg, Regensburg, Cham, Blattna, Prag. Die Erschütterung wurde jedoch nicht an allen Orten innerhalb der angegebenen Begränzung wahrgenommen, so z. B. nicht in Hildesheim nach einer Nachricht von Ferdinand Roemer. Ueber die Richtung des Stosses gehen die Nachrichten weit auseinander. In Lübbenau wird sie angegeben als gerichtet von West nach Ost, in Halle von SW nach NO, in Bürgel von ONO nach WSW, in Chemnitz von S nach N. Die Dauer des Stosses, der in Annaberg, Wahrenbrück, Weimar, Chemnitz sich wiederholte, wird überall nur als kurz angegeben. Die Zeitangaben, im Allgemeinen wenig genau, etwa um 4 Uhr Nachmittags führen nach von Seebach auf eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf der Erdoberfläche von 3,7 geographischen Meilen in der Minute. Sie sind abgeleitet aus den Zeitbestimmungen von Göttingen, Leipzig, Breslau, Chemnitz, Gießen, Schwäbisch Hall.

In einem Theil des Schütterbezirkes, der etwa durch Leipzig, Halle, Jena, Rudolstadt, Lobenstein, Geroldgrün, Eger, Buchholz, Chemnitz, Wahrenbrück begränzt wird, war das Erdbeben von unterirdischem, donnerähnlichem Rollen begleitet. Auch in diesem Stück liegt die längere Axe etwa SW — NO.

Nach einem vom Oberbergamt in Halle a. S. erstatteten und freundlichst mitgetheilten Bericht trat in dem dortigen Gebiet die Erschütterung zwischen 3 Uhr 51 Minuten und 4 Uhr 1 Minute auf. Sie ist dort von Personen, die sich nicht in Gebäuden befanden, sondern auf freiem Felde und in den Straßsen der Stadt aufhielten, mit Zuverlässigkeit nicht bemerkt worden. Auch in den zur ebenen Erde gelegenen Wohnungen war die Erschütterung wenig fühlbar, wohl in den oberen Stockwerken. Personen, die auf dem (aus Porphyrconglomerat bestehenden) Jägerberg in einer mit Steinplatten belegten, offenen Halle zur ebenen

1) Aus den Bohrlöchern von Sperenberg sind keine Beobachtungen vorhanden.

Erde saßen, nahmen die Stöße sehr deutlich wahr, während die im nämlichen Gebäude in den Zimmern des Erdgeschosses auf Holzdielen sitzenden Personen gar nichts bemerkten. Nirgend in Halle wurden nennenswerthe Beschädigungen bewirkt, Zimmerglocken schlugen an, die Möbel bewegten sich, offenstehende Thüren und Fenster schlugen zu.

Die Dauer der Erschütterung beschränkte sich auf 3 bis 5 Secunden. Die Gegenstände erschienen durch einen schräg von unten kommenden Stoß in schwingende Bewegung versetzt. In Halle hatten die Schwingungen die Richtung von Südwest nach Nordost. Die Mehrzahl der Beobachter hörte gleichzeitig ein Geräusch, das dem eines schnell fahrenden schweren Wagens glich.

Die folgenden Angaben über die früheren Erdbeben Norddeutschlands sind entnommen aus Klöden: Beiträge zur mineralogischen Kenntniß der Mark Brandenburg. 10. Stück 1837. von Hoff: Chronik der Erdbeben 1840 und 1841. A. Perrey: *Documents relatifs aux tremblements de terre dans le Nord de l'Europe et de l'Asie. St. Petersbourg* 1849. (Aus dem *Annuaire magnétique et météorologique du corps des Mines de Russie pour l'année* 1846). Ch. Keferstein, Zeitung für Geognosie 1827 3. Stück. Mallet, *Report Brit. Assoc.* 1852, 53, 54, 58.

822. Großes Erdbeben in Deutschland, vornämlich in einigen Gegenden von Obersachsen. Neben dem Arendsee wurde durch dasselbe eine noch jetzt in Gestalt eines Erdwalles bestehende Bodenerhebung hervorgebracht. (Kl. v. H.)

997. Starkes Erdbeben an der Elbe, im Magdeburgischen und in der Altmark. (Kl. v. H.)

1011. Erdbeben in Lüneburg (nur b. Kef.).

1410, 23. August 11 Uhr Abends. Erdbeben, das sich von Preußen her durch die Mark bis Magdeburg und zu den Seestädten bis Lübeck erstreckte. In Magdeburg dem wie es scheint südlichsten und in Lübeck dem westlichsten

Punkte war es noch ziemlich heftig gewesen. In der Priegnitz war es so bedeutend, daß das Gemäuer des Thurmes zu Wittstock eine große Borste von oben bis nach unten erhielt. Jaspar Sarnovius in Wittstock sagt davon: *hic terrae motus Alemannis undique notus etc.* (Nur bei Kl. u. Kef.)

1412. 21. September. In der Priegnitz will man bei dem heftigen Sturm ein Erdbeben beobachtet haben. Aus anderen Gegenden wird nichts gemeldet. (Nur bei Kl.)

1572. 9. Januar Abends 9 Uhr soll in Thorn während eines Sturmes ein Erdbeben gewesen seyn (Kl.; am 6. Januar Perrey).

1628 im December in Meklenburg Erdbeben, welches die Leute in den Betten eine halbe Elle hoch aufhob und die Häuser hin und her bewegte (Kl., v. H., Kf., P.).

1638 erschreckten Erdbeben die Mark Brandenburg (v. H.).

1680 will man in der Altmark ein Erdbeben bemerkt haben (Kl.)

1683 am 25. April zwischen 8 und 9 Uhr Abends Erderschütterung zu Wismar am Baltischen Meere (v. H.)

1699 im Januar Erdstöße an der Elbe bis Hamburg (Kf.; vgl. v. Hoff.).

1710 am 8. September will man in Stettin ein Erdbeben bemerkt haben (Kl.; bei Keferstein „Stein am Rhein“).

1715 am 12. Juni will man bei Delitzsch in Sachsen, besonders in dem Dorfe Klebitz bei schwerem Ungewitter eine Erderschütterung empfunden haben (v. H.).

1724 wurde in der Lausitz ein Erdbeben bemerkt. (Kl.)

1736 im November will man beim Dorfe Stendal unweit Schwedt Mittags zwischen 11 und 12 Uhr ein Erdbeben bemerkt haben. Dasselbe geschah während eines heftigen Sturms, der am 22. Januar 1737 vorzugsweise die Uckermark durchtobte. Das Erdbeben währte eine Minute lang und wurde auch an anderen Orten als ein solches erkannt, namentlich machte es sich zu Bartikow und Mürow fühlbar (Kl.).

1752 am 9. September bemerkte man in Rampitz, einem Dorfe an der Oder in der Neumark, einen Erdstoß. Er währte kaum eine halbe Minute und war mit Sturmwind und heftigem Donnerwetter verbunden (Kl. u. v. H.)

Das große Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755 war in Deutschland besonders an den Gewässern bemerkbar. Die Brandenburgischen Landseen zeigten ungewöhnliche Bewegungen, so die Seen von Templin, Netzo, Mahlgast, Röddelin und Libbesee. In Hamburg will man in einigen Kirchen ein Schwanken der Kronleuchter bemerkt haben. Das Wasser der Eider und Sturh (Stör?) wallte auf. In Rendsburg, Elmshorn, Bramstedt, Kellinghusen, Meldorf empfand man Erschütterungen (v. H.), auch in Glückstadt (Kf.). In Lübeck erhob sich in 8 bis 10 Minuten das Wasser 4 bis 5 Fufs hoch; in Garz (Pommern) gerieth die Oder zwischen 11 und 12 Uhr in Bewegung und stieg über ihre Ufer. Kähne, die an Pfählen lagen, wurden so hoch gehoben, daß sie die Pfähle aus dem Grunde zogen. Die Bewegung dauerte etwa eine halbe Stunde. Das Wasser des Sees um Malchow (Mecklenburg) fing zwischen 11 und 12 Uhr Mittags an sich heftig zu bewegen, augenscheinlich von Ost nach West. Kähne, die schon Jahre lang auf dem Grunde des Wassers gelegen hatten, wurden in die Höhe gebracht. In der Stiftskirche in Malchow schwankte der Taufengel von Nord nach Süd. Im großen Stechlinsee, W. von Fürstenberg, wurde Ansteigen und Zurückziehen beobachtet. (Kl.)

1755 am 25. December vernahm man in der Stennewitz'schen Glashütte, drei Meilen von Küstrin, in der Nacht vier starke Stöße und unterirdisches Getöse. (Kl.)

1786 am 3. Januar Abends in Stettin Erdbeben (Perrey nach Ephem. Mannheim).

1789 am 17. Mai zu Plaue an der Havel eine Erschütterung (v. H., P.)

1800 am 9. November Abends von 7 Uhr an bis zwischen 1 und 2 Uhr Morgens furchtbarer Orkan in den

Ländern am Deutschen und Baltischen Meer. Im Brandenburgischen will man dabei Erdstöße empfunden haben (v. H. P.).

1805 am 10. Mai furchtbarer Sturm, bei dem man in Tönningen einen Erdstoß empfunden haben will (v. H.).

1819 am 28. Februar Erderschütterung in Delitzsch und Eilenburg (Kf.).

1822 am 13. September Erdstöße an den jütländischen Westküsten (Kf.).

1824 in der Nacht vom 22. zum 23. December während eines heftigen Sturmes will man in Hamburg Erdstöße empfunden haben (v. H.); Erderschütterungen in Stralsund (Kf.). Zweimalige starke Erderschütterung in Alfter bei Bonn (v. H. und Kf.).

1828 April 12 bis 13. Die Angabe, daß in dieser Nacht in Berlin Erdstöße empfunden wurden, ist nach Poggendorff mindestens zweifelhaft (v. H.).

1829 am 17. (18.?) August (2½) 3½ Uhr Abends ward ein ziemlich starker Erdstoß empfunden zu Gothenburg, Christianshavn, Amager, Kopenhagen und auf einem in der Gegend von Dobberan vor Anker liegenden Dampfschiff. In Kopenhagen kam die Richtung des Stoßes aus NW, ihm ging hohles Donnern voraus (v. H. P.).

1832 am 18. oder 19. October 2 Uhr Abends in mehreren Gegenden des Königreichs Sachsen eine Erderschütterung. Vornämlich empfunden in den Gegenden an der Pleiße und Mulde bis in die Elbgegend bei Dessau (v. H.).

1839 am 12. Januar Morgens in Berlin sehr merkliche Stöße, besonders im Nordtheile der Stadt (Perrey nach dem *Moniteur universel* und A. Colla *Giornale astronomico* 1841, p. 151¹⁾).

1841 am 3. April 3½ Uhr Abends in Jütland und Schleswig starke Erdstöße (Perrey nach Lamont Ann. für Meteor. und Erdmagnetismus, Quetelet, Colla *Giorn.*

1) Ich habe das Original nicht zu Gesicht bekommen, andere Angaben kenne ich nicht.

astronomico 1842 p. 96. Vergl. Forchhammer, Münchner gelehrt. Anzeiger 1842, 367).

1841 am 15. Juli Erdstofs im Amte Holbek (Seeland), der auch in Kopenhagen bemerkt wurde (Perrey nach Lamont, Colla *Giornale astron.* 1842, p. 97, Que-telet).

1861 am 15. Mai bei Aryt, Kreis Johannisburg, angeblich kleine Erderschütterung. Um 6½ Uhr und etwas später zum zweiten Male vernahm man ein mehrere Sekunden anhaltendes Getöse, welches die Gebäude erzittern machte. Der Boden vibrirte in der Richtung von NO nach SW (Zeitsch. f. Erdk. (2) XI. 71. 1861).

**IX. Ueber das Peltier'sche Phänomen und die thermo-elektromotorische Kraft der Metalle;
von A. Wüllner.**

Aus seinen interessanten und schönen Versuchen über die Temperaturveränderungen an Löthstellen verschiedener Metalle bei dem Durchgange eines elektrischen Stromes und die elektromotorische Kraft der Thermoströme (Pogg. Ann. Bd. CXLIII) zieht Hr. Edlund den Schluss, daß die dabei beobachteten Erscheinungen mit dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie nicht übereinstimmen. Mir scheint dieser Schluss nicht gerechtfertigt zu seyn, im Gegentheil scheinen mir die Resultate der Versuche des Hrn. Edlund in Verbindung mit früheren Versuchen des Hrn. W. Thomson, soweit es ohne neue Messungen in gleich hervortretender Richtung möglich ist, eine schöne Bestätigung des zweiten Hauptsatzes respective der mit Hülfe desselben von Hrn. Clausius gegebenen Theorie der Thermoströme zu liefern.

Um die von Cumming, Thomson u. a. beobachtete Umkehr der Thermoströme bei großen Temperaturdiffe-

renzen sowie überhaupt die Abweichung von der Proportionalität zwischen der elektromotorischen Kraft der Thermostrome und der Temperaturdifferenz der Löthstellen zu erklären, nimmt Hr. Clausius an, daß bei den Thermostromen der Sitz der elektromotorischen Kraft keineswegs allein in den Löthstellen sich befinde, sondern daß auch im Innern eines und desselben Metalles, wenn seine verschiedenen Theile sich in verschiedenen Temperaturen befinden, die Wärme das Bestreben habe, die Elektrizität nach verschiedenen Richtungen zu treiben, und daß daher, wenn der Gleichgewichtszustand eingetreten ist, das Potentialniveau in einen und demselben Metalle nicht überall dasselbe ist, sondern daß auch zwischen den verschiedenen warmen Theilen desselben Metalles elektrische Differenzen vorhanden sind.

Hr. Clausius begnügte sich damals (Pogg. Annal. Bd. XC) diese Annahme dadurch zu begründen, daß er auf die Erfahrungen hinwies, nach denen zwischen zwei Stücken desselben Metalles elektrische Differenzen auftreten, sobald zwischen denselben moleculare Verschiedenheiten, krystallinisches Gefüge, verschiedene Härte u. dgl. vorhanden sind. Eine ähnliche Verschiedenheit der molecularen Beschaffenheit kann auch vorübergehend in den Metallen durch Temperaturdifferenzen vorhanden seyn. Gerade diese Annahme des Hrn. Clausius wird aber durch die vorhin erwähnten Versuche des Hrn. W. Thomson (*Philosoph. Transactions for 1856*) und durch die neueren Versuche des Hrn. Edlund auf das schönste bestätigt. Die Annahme des Hrn. Clausius läßt nämlich zwei Folgerungen zu, von denen die eine durch die Versuche des Hrn. W. Thomson, die andere durch jene des Hrn. Edlund experimentell erfüllt wird.

Zunächst nämlich folgt aus dieser Annahme, daß sich das Peltier'sche Phänomen nicht nur an den Berührungsstellen zweier verschiedener Metalle, sondern auch innerhalb eines und desselben Metalles, wenn in demselben Temperaturdifferenzen vorhanden sind, zeigen muß.

Das heisst, wenn man einen Metalldraht oder Metallstreifen an einer Stelle erhitzt, an einer andern abkühlt, und dann durch das Metall einen Strom leitet, so muss die Erwärmung des Drahtes eine verschiedene seyn, je nachdem der Strom von der warmen zu der kalten oder von der kalten zu der warmen Stelle fliesst. Denn da nach dieser Annahme innerhalb des Metalles, wenn Temperaturdifferenzen vorhanden sind, ebenso gut Differenzen der elektrischen Potentialniveaus in Folge der Arbeit der Wärme auftreten, wie an den Berührungsstellen verschiedener Metalle, so muss auch je nach der Richtung des durch die Metalle geführten elektrischen Stromes in diesen Metallen durch den Uebergang von einem Potentialniveau auf das andere gerade so Arbeit geleistet oder gewonnen werden wie an den Berührungsstellen selbst.

Diese Folgerung ist durch die Versuche des Hrn. Thomson entschieden bestätigt, aus welchen er den Schluss zog, dass der elektrische Strom die Wärme fortführe. Es gelang Hrn. Thomson den Nachweis zu liefern, dass der von einem Strome zwischen einer erwärmten und einer abgekühlten Stelle durchflossene Draht oder Blechstreifen eine höhere oder eine niedrigere Temperatur zeigte, je nachdem der Strom von warm zu kalt ging oder umgekehrt. Bei Kupfer war der Metallstreifen wärmer, wenn der positive Strom von der erhitzten zu der abgekühlten Stelle ging, oder wie Hr. Thomson es bezeichnete, im Kupfer führt der positive Strom Wärme mit sich fort, im Eisen und Platin war die Temperatur höher, wenn der positive Strom von kalt zu warm ging, oder es führt dort nach Hrn. Thomson's Ausdrucksweise der negative Strom Wärme mit sich fort. Hr. Wiedemann (Galvanismus Bd. I, S. 644) zieht allerdings die Beobachtungen des Hrn. Thomson in sofern in Zweifel, als er es für möglich hält, dass diese Verschiedenheiten durch secundäre Ursachen bedingt seyen. Er meint, die Ströme gingen fast immer durch verschieden gebogene, gepresste, ja auch an einander gelöthete Theile der benutzten Me-

tallstreifen zu den freien Stellen derselben hin, so daß auch die dadurch bewirkte Verschiedenheit der Härte und Structur sehr leicht verursachen könnte, daß analog dem Peltier'schen Phänomen beim Uebergange des Stromes aus einem Metall in das andere Erwärmungs- und Erkältungserscheinungen an den Contactstellen der verschiedenen dichten und harten Theile der Metalle auftreten können. Derartige zufällige Umstände können indess die von Hrn. Thomson beobachtete Regelmäßigkeit der ganzen Erscheinung nicht ergeben, denn es ist nicht anzunehmen, daß solche störende Umstände immer in demselben Sinne wirken.

Das Verständniß der Thomson'schen Versuche kann nur so lange Schwierigkeit bieten, als man die Resultate derselben einer besonderen Eigenschaft des galvanischen Stromes zuschrieb, in der Auffassung als Peltier'sches Phänomen in den einzelnen Metallen sind sie eine nothwendige Folge der Theorie des Hrn. Clausius. Diese Deutung der Versuche läßt es auch nicht auffallend erscheinen, sondern läßt es vielmehr voraussehen, daß nach der Ausdrucksweise des Hrn. Thomson in einigen Metallen der positive, in anderen dagegen der negative Strom Wärme mit sich fortführt; es hängt das eben davon ab, in welchem Sinne in den verschiedenen warmen Theilen eines und desselben Metalles die Differenzen der elektrischen Potentialniveaus auftreten, ob ein Steigen dieser Niveaus von den kalten Stellen gegen die warmen hin vorhanden ist oder umgekehrt. Wenn im Eisen und Platin der negative Strom Wärme fortführt, also bei der Richtung von den warmen zu den kalten Stellen der Strom das Metall weniger erwärmt als bei entgegengesetzter Richtung, so heißt das nichts anders, als daß im Eisen allein durch Temperaturdifferenzen ein Steigen der elektrischen Potentialniveaus von den warmen Stellen aus gegen die kalten hin hervorgebracht war, oder, daß dort durch die Temperaturdifferenzen ein Strom von den warmen Stellen des Eisens gegen die kalten hin entsteht. Wenn

deshalb in diesem Sinne ein Strom durch an verschiedenen Stellen verschieden warmes Eisen geführt wird, so muß zur Ueberwindung der Steigerung der Potentialniveaus Wärme verbraucht werden, es muß also ein in diesem Sinne gerichteter Strom in dem Metalle weniger Wärme entwickeln als ein im entgegengesetzten Sinne fließender.

Wenn im Kupfer und Messing der positive Strom Wärme fortführt, also ein von warmen zu kalten Stellen fließender Strom mehr Wärme entwickelt als der entgegengesetzte, so bedeutet das, daß im Kupfer die Werthe des Potentials den entgegengesetzten Verlauf haben als im Eisen, daß sie dort von den kalten Stellen gegen die warmen Stellen hin aufsteigen.

Die zweite der erwähnten aus der Clausius'schen Theorie zu ziehenden Folgerungen ist die, daß die elektromotorische Kraft der Thermoströme den an den Löthstellen der Metalle beim Hindurchführen eines galvanischen Stromes entwickelten oder verbrauchten Wärmemengen nicht proportional seyn kann; oder daß das Verhältniß, welches zwischen den durch eine bestimmte stets gleiche Temperaturdifferenz bei verschiedenen Metallcombinationen erzeugten elektromotorischen Kräften und der bei denselben Metallcombinationen durch eine gewisse für alle gleiche Stromstärke an den Löthstellen erzeugten oder verbrauchten Wärmemenge besteht, für die verschiedenen Metallcombinationen ein verschiedenes seyn muß. Denn die an einer Löthstelle durch eine gewisse Stromstärke erzeugte oder verbrauchte Wärmemenge ist ein Maafs der durch die Wärme bedingten Differenz der Potentialniveaus an der Löthstelle selbst. Die elektromotorische Kraft der Thermoströme ist aber proportional der Summe sämtlicher nach derselben Richtung gebildeten in dem ganzen Stromkreise vorhandenen Differenzen der Potentialniveaus. Je nach der Richtung nun, nach welcher in den homogenen Metallen die Potentialniveaus steigen oder fallen, kann die elektromotorische Kraft der Thermoströme gröfser oder

klein
Löth
vorh
Met
wiss
die
Stro
Stro
war
die
der
han
tall
des
und
E_A
Wä
vor
wor
je
gan
lun
Ein
sch
Ku
und
Th
ten
Me
Be
Cl
ich
gel
Un
und
F

kleiner seyn, als sie es seyn würde, wenn nur in den Löthstellen eine Differenz der elektrischen Potentialniveaus vorhanden wäre. Haben wir einen Stromkreis aus zwei Metallen A und B , in welchem der Strom bei einer gewissen elektrischen Differenz E in der Löthstelle durch die warme Löthstelle von A nach B geht, so wird der Strom stärker seyn als $\frac{E}{L}$, worin L der Widerstand des Stromkreises ist, wenn in B die Potentialniveaus von den warmen gegen die kalten Stellen, in A von den kalten gegen die warmen hin steigen; nennen wir die Summe der nach der Richtung des durch E bewirkten Stromes in B vorhandenen Differenzen der Potentialniveaus E_B , in dem Metalle A dagegen E_A , so ist die elektromotorische Kraft des Stromes

$$K = E + E_B + E_A,$$

und man sieht sofort, daß K je nach dem Vorzeichen von E_A und E_B größer oder kleiner seyn kann als E .

Die an den Löthstellen erzeugte oder verbrauchte Wärmemenge W können wir nun bei der in allen Fällen vorausgesetzten Gleichheit der Stromstärke setzen

$$W = a \cdot E$$

woraus folgt, daß das Verhältniß

$$\frac{K}{W} = a + \frac{E_B + E_A}{W}$$

je nach den Werthen und Vorzeichen von E_B und E_A ein ganz verschiedenes seyn kann.

Daß dem so ist, haben die Versuche des Hrn. Edlund direct gezeigt, welcher in den von ihm gewählten Einheiten für dieses Verhältniß Werthe fand, welche zwischen 1,07 für Kupfer-Wismuth und über 2 für Zink-Kupfer liegen. Diese Versuche liefern deshalb einen neuen und überzeugenden Beweis dafür, daß die Quelle der Thermostrome nicht lediglich in den verschieden erwärmten Löthstellen, sondern zum Theil in den verschiedenen Metallen selbst zu suchen ist, sie liefern also einen neuen Beweis für die Theorie der Thermostrome, wie sie Hr. Clausius aufgestellt hat.

Noch auf eine weitere Experimentaluntersuchung möchte ich als auf eine Bestätigung der von Hrn. Clausius gegebenen Theorie der Thermostrome hinweisen, auf die Untersuchung des Hrn. Avenarius (Annalen Bd. CXIX und Bd. CXXII). Nach den Versuchen des Hrn. Thom-

son kann in einem homogenen Metalle durch Temperaturdifferenzen ein Steigen der elektrischen Potentialniveaus von den kalten zu den warmen oder in andern Fällen von den warmen zu den kalten Stellen hin eintreten. Es wird deshalb durch diese Verschiedenheiten die elektromotorische Kraft der Thermoströme entweder rascher oder langsamer wachsen können als die Temperaturdifferenz der Löthstellen, je nach den Aenderungen, die in den Metallen eintreten. Dafs in der That eine derartige Verschiedenheit in dem Gange der elektromotorischen Kraft der Thermoströme vorhanden ist, zeigen die Versuche des Hrn. Avenarius, welcher die elektromotorischen Kräfte der Thermoströme, bei den von ihm untersuchten Metallcombinationen durch eine Gleichung von der Form

$$E = (t_2 - t_1) [a + b (t_2 + t_1)]$$

ausdrücken konnte, in welcher b das positive oder das negative Vorzeichen haben kann; positiv ist es z. B. für Zink-Kupfer, negativ für Zink-Stahl. Die Versuche des Hrn. Avenarius ergeben gleichzeitig, dafs der Werth von b im Allgemeinen nur sehr klein ist, selbst in den Fällen, in welchen bei grofsen Temperaturdifferenzen eine Umkehr des Stromes stattfindet; es stimmt das damit überein, dafs nach den Versuchen des Hrn. Thomson die durch die Verschiedenheit der Stromesrichtung bedingte Verschiedenheit in der Wärmeentwicklung nur eine geringe ist, oder dafs in den homogenen Metallen durch Temperaturdifferenzen nur eine geringe Aenderung der Potentialniveaus eintritt.

Alles das beweist, dafs die bis jetzt vorliegenden Erfahrungen über die Thermoströme eine volle Bestätigung der Theorie von Clausius bieten, dafs die Erscheinungen und der Verlauf der Thermoströme somit nicht gegen den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie sprechen, dafs sie vielmehr eine weitere Bestätigung desselben liefern, indem sie die von Hrn. Clausius angenommenen Umstände, welche die Abweichung von der Proportionalität der elektromotorischen Kraft mit der absoluten Temperatur erklärten, als wirklich vorhanden nachweisen. Messungen in der Richtung der Versuche von Thomson, oder Messungen der Temperaturänderungen an den und in der Nähe der Löthstellen, wenn gleichzeitig in der Weise des Hrn. Thomson Temperaturdifferenzen in den Drähten hergestellt und erhalten würden,

könnten die vollste Uebereinstimmung der Erscheinungen auch in quantitativer Weise zeigen. Ob bei der Kleinheit der zu messenden Gröfsen hinreichend genaue Resultate zu erhalten sind, muß der Versuch ergeben.

Aachen d. 24. März 1872.

X. Ueber krystallisirte Phosphorsäure; von Emil Zettnow.

Als käufliche glasige Phosphorsäure in einem Glasgefäfs mit schlecht eingeschliffenem Glasstopfen ungefähr ein Jahr lang aufbewahrt worden war, zeigte sich an den Stengeln der glasigen Phosphorsäure und besonders am Boden in einer dickflüssigen Mutterlauge eine geringe Menge glasglänzender Krystalle, von denen der grösste und am besten ausgebildetste ungefähr so grofs wie eine Linse war. Derselbe mit Fließpapier getrocknet, bestand dem Anschein nach aus einem rhombischen Prisma mit Abstumpfung der einen scharfen Kante, während bei der anderen entsprechenden eine solche nicht wahrgenommen werden konnte; ferner zeigte sich eine grofse vordere, und eine kleinere hintere schiefe Endfläche. Die Zerfließlichkeit des Krystalls machte eine genauere Bestimmung seines Systems unmöglich. Bei der qualitativen Analyse konnten keine anderen Bestandtheile nachgewiesen werden als gewöhnliche Phosphorsäure, Wasser und nur durch Flammenreaction erkennbare Spuren von Natron. Beim Versetzen der wäfsrigen Lösung der Krystalle mit Salzsäure und Eintrocknen derselben auf einem Uhrglase bildet sich keine mikroskopisch wahrnehmbare Menge eines krystallisirbaren Salzes. Es war ferner bei genauer Prüfung nicht aufzufinden Kali, Kalk, Magnesia und andere etwaige Basen. Die Krystalle wurden durch Pressen zwischen Fließpapier von anhängender Mutterlauge völlig befreit, lösten sich im Wasser, obgleich zerfließlich, doch erst im Verlauf einiger Minuten völlig auf und es zeigte die frische Lösung alle charakteristischen Reactionen der gewöhnlichen, dreibasischen Phosphorsäure: Eiweißlösung wurde nicht coagulirt; Silber-

lösung nach der Neutralisation mit Ammon, wobei die Flüssigkeit völlig klar blieb, gelb gefällt und durch schwefelsaure Magnesia und Ammoniak das bekannte Doppelsalz erhalten. In Folge dieser Reactionen hielt ich die Verbindung für krystallisirt dreibasische Phosphorsäure von der Formel $\text{H}^3\text{PO}^4 = \text{P}^2\text{O}^5 + 3\text{H}^2\text{O}$ und war überrascht, als die beiden unten angeführten Analysen nicht diesen, sondern einen anderen Wassergehalt ergaben, so daß den Krystallen die Formel $\text{H}^4\text{P}^2\text{O}^7 = \text{P}^2\text{O}^5 + 2\text{H}^2\text{O}$ zukommt.

a) 0,2521 der zwischen Fließpapier völlig getrockneten Krystalle wurden mit frisch ausgeglühtem Bleioxyd bis zur Gewichtsconstanz gelinde geglüht, und hinterließen 0,201 = 79,73 Proc. Phosphorsäure.

b) 0,106 ebenso behandelt ergaben 0,0842 = 79,62 Proc. also im Mittel 79,67 Proc.

während die Formel $\text{P}^2\text{O}^5 + 2\text{H}^2\text{O}$ 79,77 Proc. verlangt. Die wahrscheinlichste Erklärung für das ihrem Wassergehalt nicht entsprechende Verhalten der Krystalle möchte wohl die Annahme geben, daß die Krystalle eigentlich aus Pyrophosphorsäure bestehen, welche sich bei der Auflösung in Wasser augenblicklich in gewöhnliche Phosphorsäure verwandelt, und nicht, wie es gewöhnlich der Fall ist, erst im Verlauf einiger Minuten bis Stunden.

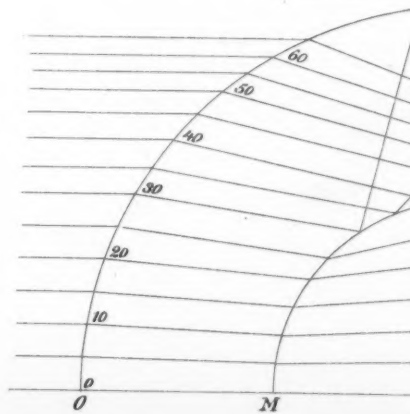
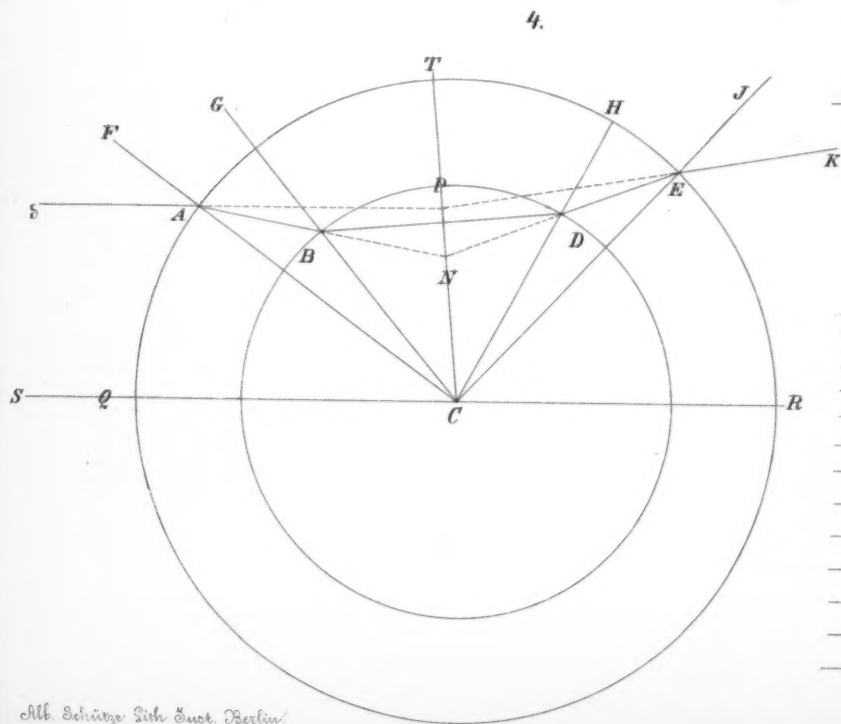
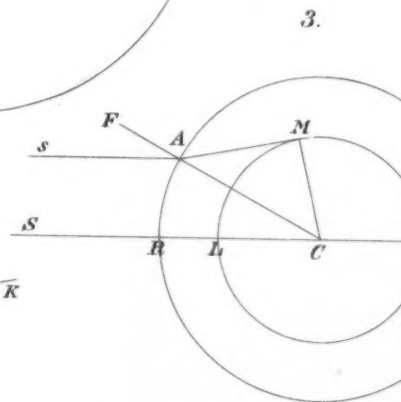
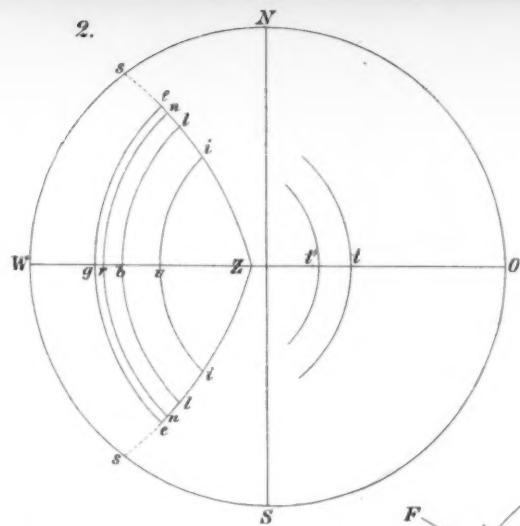
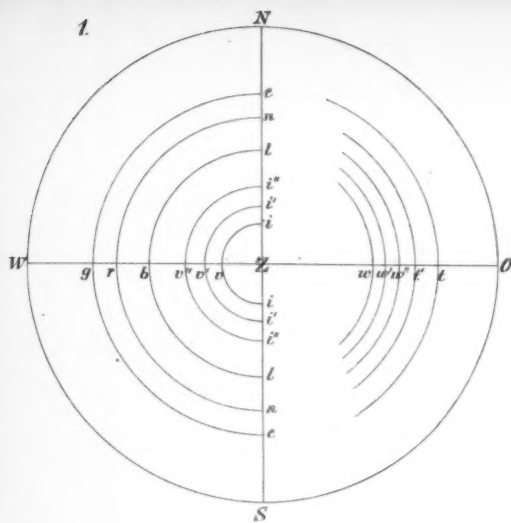
Berlin, 25. August 1871.

die
rch
nte
ich
ure
per-
cht
so
O

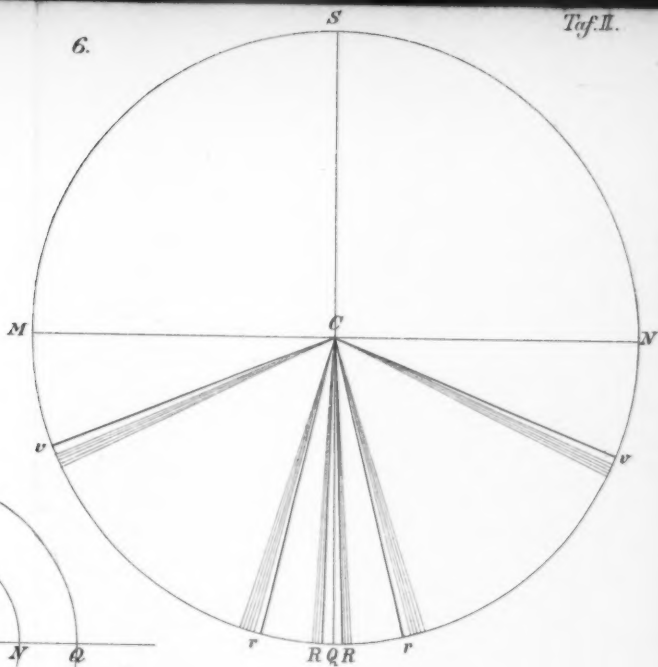
ten
bis
sen

oc.

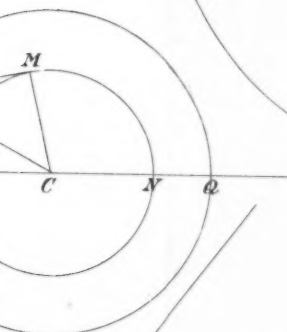
gt.
ge-
hte
ich
uf-
or-
all



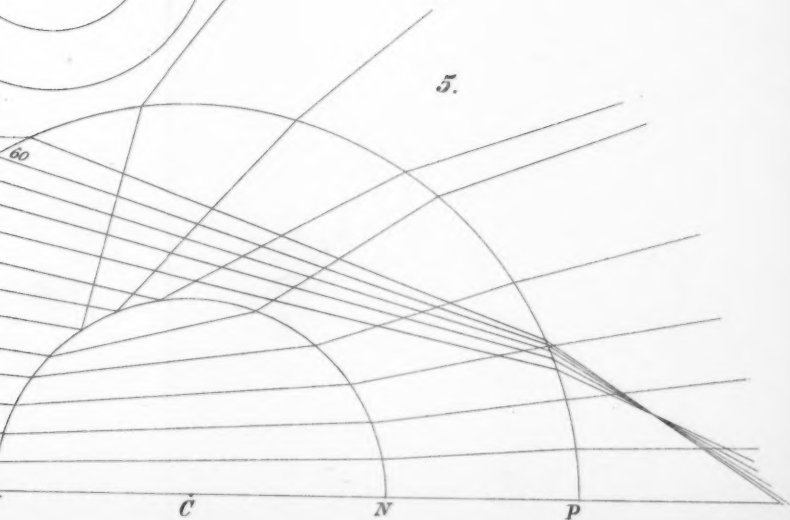
6.



3.

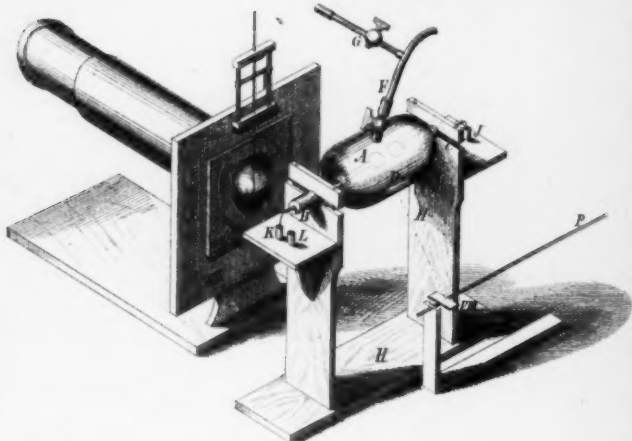


5.

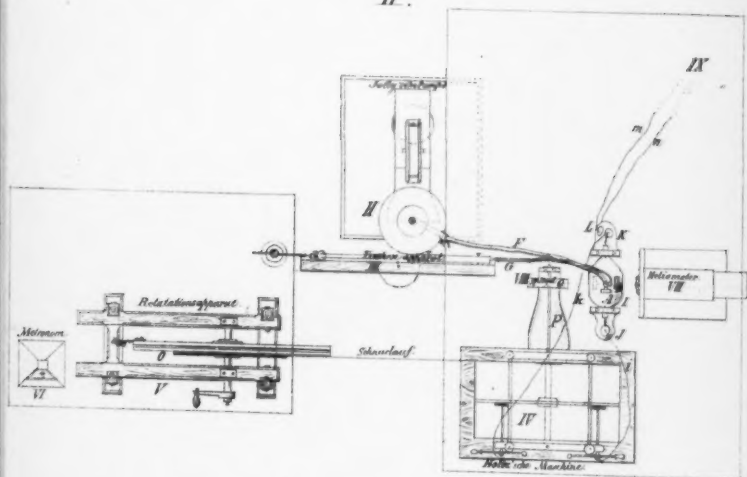


Tafel III

I.



II.



Tafel IV

Fig. I.

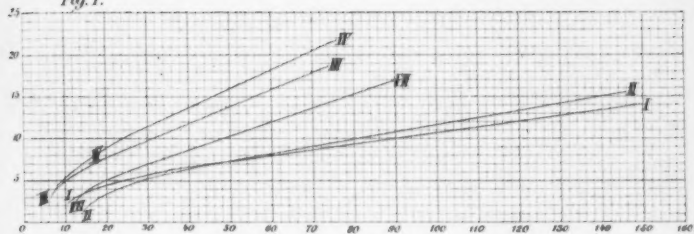


Fig. II.

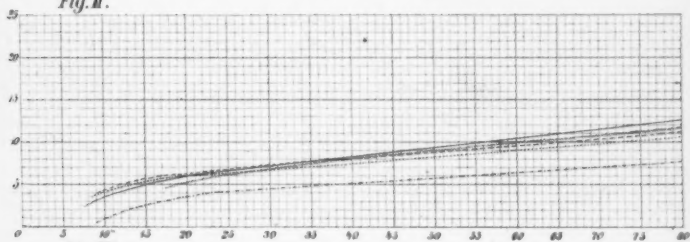


Fig. III.

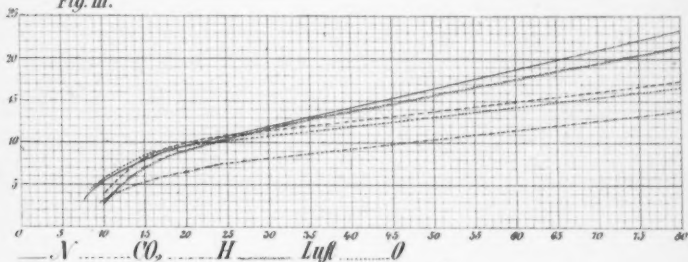
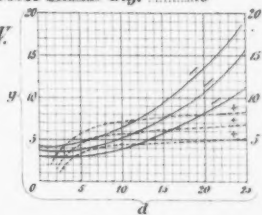


Fig. IV.



Drucke 25 mm. 40 mm. 50 mm.

— Grosse Kugel negativ. Grosse Kugel positiv.

Fig. 1.

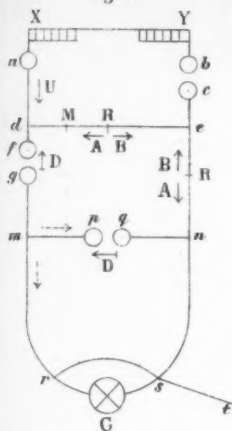


Fig. 3.

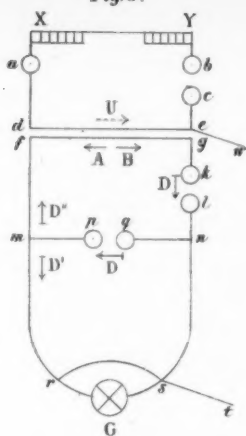


Fig. 4.

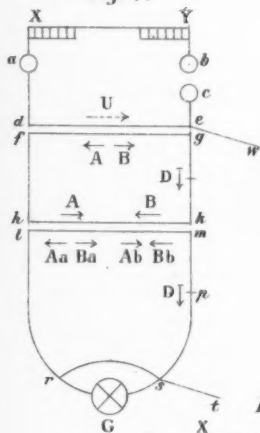


Fig. 5.

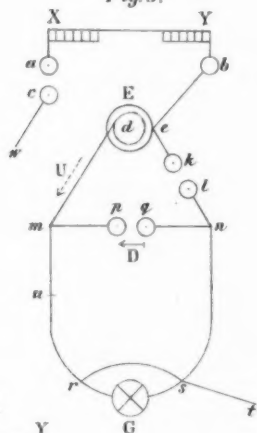


Fig. 2.

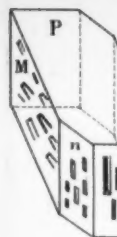
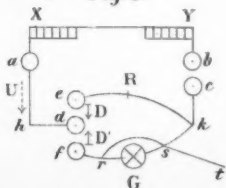
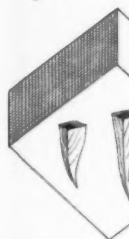


Fig. 7.



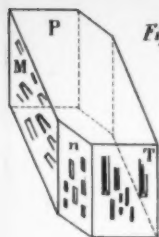


Fig. 6^a.

Fig. 6^b.

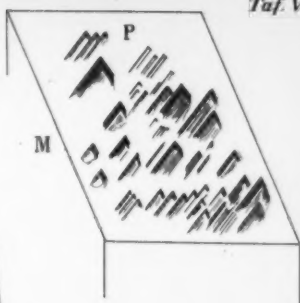


Fig. 9.

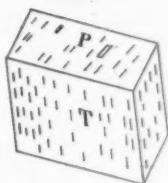


Fig. 7.

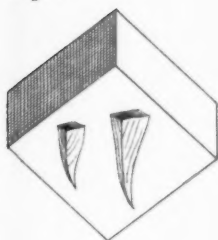


Fig. 8.

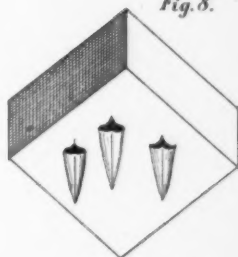


Fig. 10.

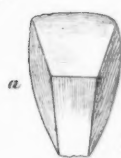


Fig. 11.

